



**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO FIN DE GRADO

# **ANÁLISIS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA PARA LA CLIMATIZACIÓN DE UNA VIVIENDA**

Autor:

**CÉSAR ACEITUNO GÓMEZ**

Tutor:

**ANTONIO SORIA VERDUGO**

**(Departamento: Ingeniería Térmica y de Fluidos)**

*Leganés, Junio de 2013*



# Agradecimientos.

En primer lugar agradeceré a mi familia, que tanto me ha apoyado, no solo económicamente, sino moralmente. Gracias a ellos esto ha podido ser posible, siempre han estado ahí para darme ánimos y han hecho que no tirase la toalla en ningún momento. Por otro lado, al que debería dedicar un párrafo para él solo, es mi hermano, estos cuatro años juntos nos han unido más. Además me ha ayudado bastante con el trabajo de fin de grado, ya que gracias a él he aprendido a manejar Matlab.

No menos importantes han sido mis amigos, tanto las personas que he conocido en la universidad, con los que he entablado una gran amistad, como los amigos que ya llevaba conmigo antes de empezar la carrera, todos han estado ahí para animarme, no dudando en un solo momento que lo conseguiría.

Como no, comentar el lugar en el que he pasado muchos ratos y me ha servido para despejarme, disfrutando de la naturaleza, que tanto me encanta, me refiero al pueblo de mis abuelos, por ello este trabajo lo he realizado para una vivienda de allí.

Por último agradecer a mi tutor, Antonio, que a pesar de tener mucho trabajo, me facilitó guiarme el trabajo y siempre me ha abierto las puertas, estando disponible en todo momento.

# Resumen.

Se ha realizado un análisis de la demanda energética que tiene una vivienda situada en Puerto de San Vicente, Toledo. Se trata de una simulación anual en la que se estudia las cargas térmicas que tienen lugar tanto para el período de calefacción de la vivienda como el de refrigeración. Se representan de forma gráfica todas las pérdidas que se producen en el habitáculo.

Además se lleva a cabo un estudio de sensibilidad de parámetros interiores de diseño. Por un lado se estudia la repercusión que tiene la variación de la temperatura interna de la vivienda en el consumo de energía, por otro lado un estudio del espesor del aislante de muro y techo, se trata de alcanzar el espesor óptimo que debe tener el aislamiento.

Por último y no de menos importancia se realiza un estudio medioambiental en que se evalúan las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera en función de la energía que se consume.

# Índice general

|  |    |
|--|----|
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....  | 10 |
| 1.1. Objetivos. ....   | 11 |
| 1.2. Situación energética en España. ....                                | 11 |
| 1.3. Protocolo de Kioto.....   | 12 |
| 1.4. Justificación. ....   | 13 |
| CAPÍTULO 2: TRANSFERENCIA DE CALOR.....                                  | 15 |
| 2.1. Conducción.....   | 16 |
| 2.2. Convección. ....  | 17 |
| 2.3. Radiación. ....   | 19 |
| 2.4. Circuito térmico equivalente.....                                   | 20 |
| 2.5. Coeficiente global de transferencia de calor. ....                  | 23 |
| 2.5.1. Coeficiente global de transferencia de calor en el muro. ....     | 24 |
| 2.5.2. Coeficiente global de transferencia de calor en el techo.....     | 25 |
| 2.5.3. Coeficiente global de transferencia de calor en el suelo. ....    | 27 |
| 2.5.4. Coeficiente global de transferencia de calor en la puerta. ....   | 29 |
| 2.5.5. Coeficiente global de transferencia de calor en las ventanas..... | 29 |
| 2.5.6. Limitación de demanda energética.....                             | 30 |
| 2.5.7. Área de transferencia de calor.....                               | 32 |
| 2.6. Psicrometría. ....  | 33 |
| CAPÍTULO 3: CARGAS TÉRMICAS.....   | 34 |
| 3.1. Cargas térmicas en el período de calefacción.....                   | 37 |
| 3.1.1. Carga térmica de transmisión .....                                | 37 |
| 3.1.2. Carga térmica de ventilación e infiltraciones.....                | 41 |
| 3.2. Cargas térmicas en el período de refrigeración.....                 | 46 |
| 3.2.1. Carga térmica de transmisión. ....                                | 47 |
| 3.2.2. Carga térmica de ventilación e infiltraciones.....                | 50 |
| 3.2.3. Carga térmica interna.....  | 52 |
| 3.2.4. Carga térmica de radiación. ....                                  | 54 |
| 3.3. Carga térmica total anual.....                                      | 55 |
| 3.4. Carga térmicas días tipo.....                                       | 56 |

|  |    |
|--|----|
| CAPÍTULO 4: ESTUDIO CARGA TÉRMICA DE RADIACIÓN Y DISEÑO DE ELEMENTO ARQUITECTÓNICO. .... | 62 |
| 4.1. Carga térmica de radiación. ....  | 63 |
| 4.2. Diseño de elemento arquitectónico.....  | 66 |
| CAPÍTULO 5: ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS INTERIORES DE LA VIVIENDA.....         | 68 |
| 5.1. Consumo y precio de energía período de calefacción. ....                            | 70 |
| 5.2. Consumo y precio de energía período de refrigeración. ....                          | 72 |
| 5.3. Consumo y precio de la energía anual. ....  | 73 |
| 5.4. Estudio medioambiental. ....  | 73 |
| 5.5. Estudio del espesor del aislamiento de la vivienda.....                             | 76 |
| CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES. ....   | 79 |
| 7. REFERENCIAS. ....   | 82 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA. ....  | 83 |
| 9. ANEXOS. ....  | 84 |
| ANEXO I.PLANO DE LA VIVIENDA DE ESTUDIO.....   | 85 |
| ANEXO II.EQUIPO DE CALEFACCIÓN.....  | 87 |
| ANEXO III. EQUIPO DE REFRIGERACIÓN.....  | 90 |

# Índice de gráficos

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1. Temperatura exterior en grados centígrados cada hora del año. ....            | 36 |
| Gráfico 2. Humedad relativa en tanto por ciento cada hora del año. ....                  | 36 |
| Gráfico 3. Carga térmica en el muro en el período de calefacción. ....                   | 38 |
| Gráfico 4. Carga térmica en el techo en el período de calefacción. ....                  | 38 |
| Gráfico 5. Carga térmica en la puerta en el período de calefacción. ....                 | 39 |
| Gráfico 6. Carga térmica en ventanas en el período de calefacción. ....                  | 39 |
| Gráfico 7. Carga térmica de transmisión en el período de calefacción. ....               | 40 |
| Gráfico 8. Carga térmica sensible en el período de calefacción. ....                     | 43 |
| Gráfico 9. Carga térmica latente en el período de calefacción. ....                      | 45 |
| Gráfico 10. Carga térmica total en el período de calefacción. ....                       | 46 |
| Gráfico 11. Carga térmica en el muro en el período de refrigeración. ....                | 47 |
| Gráfico 12. Carga térmica en el techo en el período de refrigeración. ....               | 48 |
| Gráfico 13. Carga térmica en la puerta en el período de refrigeración. ....              | 48 |
| Gráfico 14. Carga térmica en ventanas en el período de refrigeración. ....               | 49 |
| Gráfico 15. Carga térmica de transmisión en el período de refrigeración. ....            | 50 |
| Gráfico 16. Carga térmica sensible en el período de refrigeración. ....                  | 51 |
| Gráfico 17. Carga térmica latente en el período de refrigeración. ....                   | 51 |
| Gráfico 18. Carga térmica total en el período de refrigeración. ....                     | 54 |
| Gráfico 19. Carga térmica total a lo largo de todo el año. ....                          | 55 |
| Gráfico 20. Temperatura exterior 10 de Enero. ....                                       | 56 |
| Gráfico 21. Temperatura exterior 10 de Abril. ....                                       | 57 |
| Gráfico 22. Temperatura exterior 3 de Julio. ....  | 57 |
| Gráfico 23. Temperatura exterior 28 de Septiembre. ....                                  | 58 |
| Gráfico 24. Carga térmica de transmisión 10 de Enero. ....                               | 59 |
| Gráfico 25. Carga térmica de transmisión 10 de Abril. ....                               | 59 |
| Gráfico 26. Carga térmica de transmisión 3 de Julio. ....                                | 60 |
| Gráfico 27. Carga térmica de transmisión 28 de Septiembre. ....                          | 60 |
| Gráfico 28. Declinación para cada día del año. ....                                      | 64 |
| Gráfico 29. Ángulo horario para cada hora del día. ....                                  | 65 |
| Gráfico 30. Altura solar ( $\alpha$ ) para cada día del año. ....                        | 66 |
| Gráfico 31. Energía consumida en función de la temperatura interior de la vivienda. .... | 69 |
| Gráfico 32. Carga térmica en función del espesor del aislamiento. ....                   | 77 |
| Gráfico 33. Optimización espesor aislamiento de la vivienda. ....                        | 78 |

# Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Evolución emisiones GEI y cumplimiento del Protocolo de Kioto. ....  | 13 |
| Figura 2. Fenómeno de conducción a través de un sólido o fluido estacionario. ....   | 17 |
| Figura 3. Convección de una superficie a un fluido en movimiento. ....   | 18 |
| Figura 4. Transferencia de calor por radiación de una superficie de emisividad $\varepsilon$ , absorptividad $\alpha$ y temperatura T. ....              | 20 |
| Figura 5. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior en $m^2K/W$ . [3] .....  | 22 |
| Figura 6. Circuito térmico equivalente correspondiente al muro de la vivienda. ....  | 22 |
| Figura 7. Resistencias superficiales de cerramientos en contacto con el exterior en $m^2K/W$ . [3] .....   | 24 |
| Figura 8. Circuito térmico equivalente correspondiente al techo de la vivienda. ....   | 25 |
| Figura 9. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior con flujo de calor ascendente. Valores en $m^2K/W$ . [3] ..... | 25 |
| Figura 10. Ejemplo de la vivienda de estudio y las posiciones de los espacios habitables, no habitables y el aislamiento térmico. [3] .....              | 26 |
| Figura 11. Fragmento de la tabla que interesa en el caso de estudio para el cálculo del coeficiente de reducción b para techos. [3] .....                | 27 |
| Figura 12. Circuito térmico equivalente correspondiente al suelo de la vivienda. ....  | 27 |
| Figura 13. Transmitancia térmica $U_s$ en $W/m^2K$ . [3] .....   | 28 |
| Figura 14. Circuito térmico equivalente correspondiente a la puerta de la vivienda. ....   | 29 |
| Figura 15. Circuito térmico equivalente correspondiente a las ventanas de la vivienda. ....  | 30 |
| Figura 16. Listado de zonas climáticas y cambio de zona en función de la altitud. [3] .....  | 31 |
| Figura 17. Valores límite de los parámetros característicos medios. [3] .....  | 31 |
| Figura 18. Diagrama psicrométrico. ....  | 33 |
| Figura 19. Caudales de ventilación mínimos exigidos. [6] .....   | 42 |
| Figura 20. Movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol. [8] .....  | 63 |
| Figura 21. Sistema de lamas instalado en la parte superior de la ventana. ....   | 67 |
| Figura 22. Consecuencias calentamiento global. ....  | 74 |



# Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Listado de materiales con su espesor y conductividad térmica que forman el muro de la vivienda. ....                        | 24 |
| Tabla 2. Listado de materiales con su espesor y conductividad térmica que forman el techo de la vivienda. ....                       | 25 |
| Tabla 3. Listado de materiales con su espesor y conductividad que forman el suelo de la vivienda. ....                               | 27 |
| Tabla 4. Valores de los coeficientes globales de transferencia de muro, suelo y techo con los valores límites correspondientes. .... | 32 |
| Tabla 5. Área de los elementos de estudio de la vivienda. ....   | 32 |
| Tabla 6. Caudales mínimos en cada estancia de la casa. ....  | 42 |
| Tabla 7. Potencia de los aparatos y factor de uso. ....  | 53 |
| Tabla 8. Valores de energía consumida, masa de combustible y de precio en función de la temperatura interior de la vivienda. ....    | 70 |
| Tabla 9. Valor porcentual del dinero en función de la temperatura interior de la vivienda. ....                                      | 71 |
| Tabla 10. Valores en euros y porcentuales del precio de la energía consumida en el período de refrigeración. ....                    | 72 |
| Tabla 11. Valores de energía consumida y precio total anual. ....  | 73 |
| Tabla 12. Emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera en el período de refrigeración. ....  | 75 |
| Tabla 13. Emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera en el período de calefacción. ....  | 76 |
| Tabla 14. Emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera anuales. ....   | 76 |

# ***CAPÍTULO 1:***

# ***INTRODUCCIÓN.***

*Este primer capítulo recoge los objetivos que se persiguen con el presente documento, así como la situación energética de España. Además se plantea el protocolo de Kioto, y la justificación de realizar un estudio de climatización como el que se plantea.*

## 1.1. Objetivos.

El objetivo fundamental que se persigue con este trabajo es el de estudiar la climatización de una vivienda, debido al incremento del precio de los combustibles fósiles y de la electricidad. Por ello a parte de realizar un estudio de cargas térmicas para evaluar lo eficiente que es la vivienda, se persigue disminuir el consumo de electricidad y gas natural para reducir el gasto económico y no menos importante reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, como es el caso del dióxido de carbono.

Una labor importante para la sociedad, y que aquí se intenta transmitir es la concienciación sobre la temperatura interior a la que el habitáculo debe estar, para ello se muestran unas tablas, que recogen valores tanto económicos como de emisiones de dióxido de carbono en las que se puede apreciar como aumentan estos dos factores a la vez que se incrementa la temperatura de la vivienda en invierno o se disminuye en verano.

En cuanto a programas utilizados para la realización del trabajo, se emplea en general un único programa, que es Matlab, gracias a éste se simulan todos los gráficos que aparecen a continuación.

El objetivo final del trabajo es realizar un estudio de sensibilidad de los parámetros interiores de diseño de la vivienda, es decir realizar un estudio del espesor del aislamiento, y buscar el óptimo y por otro lado estudiar la temperatura interior a la que se debe mantener la casa tanto para el período de calefacción como para el de refrigeración.

Un factor interesante y del que se va a tratar a continuación es de la situación en la que se encuentra España desde el punto de vista energético y la posición que ocupa el sector residencial en cuanto a consumo de electricidad se refiere.

## 1.2. Situación energética en España.

Debido a que los datos con los que se realiza todo el trabajo datan del año 2012, es conveniente tratar los datos energéticos para este mismo año.

El consumo de energía ha disminuido como consecuencia de la crisis que azota estos últimos años a países como España, por un lado se ha producido una caída del

consumo de energía primaria de un 0,6% y de energía final de un 4,4%. El consumo de electricidad ha disminuido un 3%, cifra similar al año 2005.

A pesar de la reducción del consumo de electricidad y del descenso de la producción de energía eléctrica, las emisiones de dióxido de carbono han aumentado por el incremento del uso del carbón.

La energía primaria consumida en España se puede desglosar por las diversas fuentes de energía. A la cabeza se encuentra el petróleo con (46,9%), seguida del gas (23,5%), la tercera en uso serían las energías renovables (12,3%), después de ésta la nuclear (9,2%) y por último el carbón con (7,8%). [1]

El consumo de energía primaria en España se divide en tres tipos de sectores, por un lado el sector industrial, por otro el sector de transportes y por último el sector residencial y servicios. Cada uno de estos consume en torno al 30% del total. Por lo que el sector residencial, que engloba todas las viviendas de España, tiene una posición en el consumo de energía muy importante en España.

Por otro lado, un factor importante de un país es su grado de autoabastecimiento, es decir la dependencia energética exterior que tiene. El porcentaje de dependencia que tiene España es muy elevado, se sitúa en torno al 78,3%. Menos de un 25% de la energía que se consume se produce en el propio país, a pesar del aumento de potencia instalada de energías renovables, como es el caso de la cantidad de aerogeneradores instalados.

### 1.3. Protocolo de Kioto.

El protocolo de Kioto es un protocolo de la CMNUCC Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y un acuerdo internacional cuyo objetivo es el de reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que provocan el calentamiento global. La energía representa el 80% de las emisiones de  $CO_2$  a la atmósfera a escala mundial. Dicho protocolo pretende reducir en un 5,2% las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo, con referencia a los niveles del año 1990 [1]. España que firmó un compromiso de reducción de emisiones no cumple con él. Aun así, España es el único país de Europa que más se acerca a los cumplimientos del compromiso de Kioto.

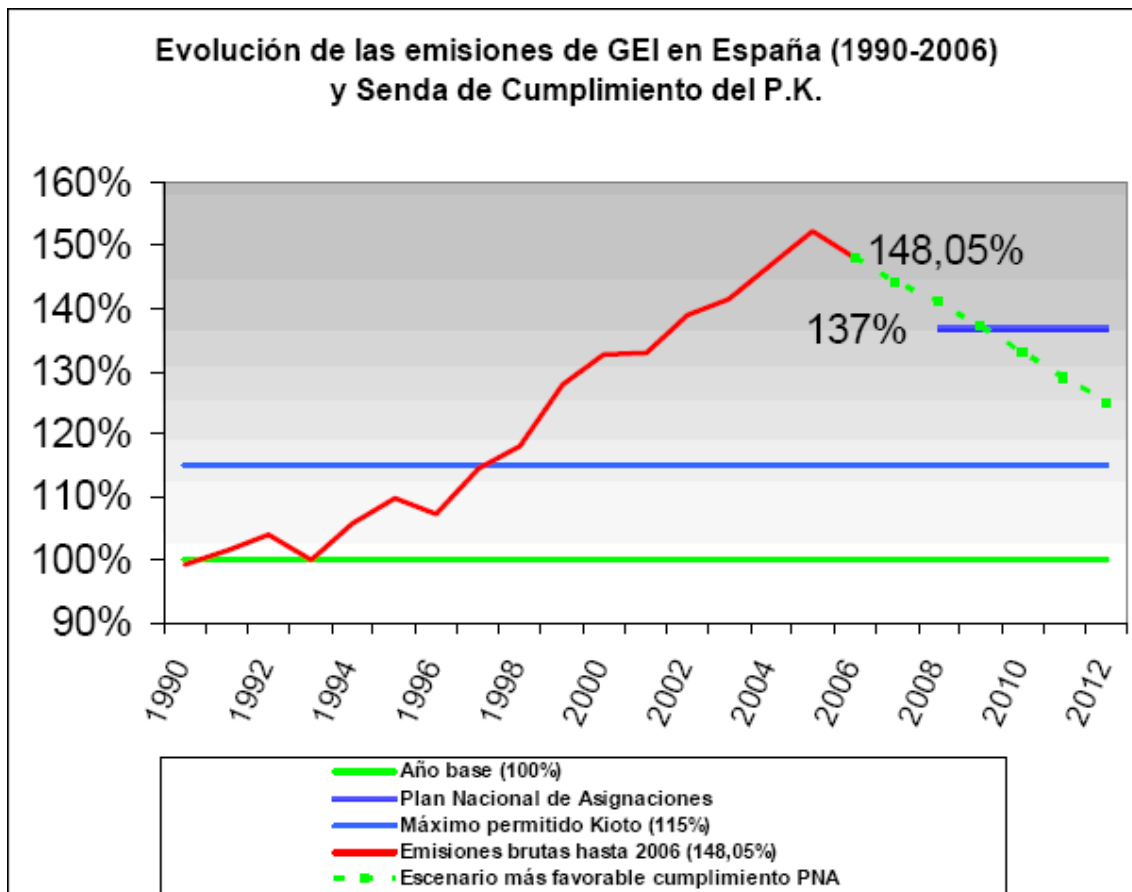


Figura 1. Evolución emisiones GEI y cumplimiento del Protocolo de Kioto.

#### 1.4. Justificación.

Debido a los datos que se exponen con anterioridad, en lo que se refiere a consumo de energía y la emisión de gases contaminantes, se considera interesante realizar un estudio previo a la construcción de una vivienda o en su defecto si esta ya está construida se puede llevar a cabo este mismo estudio. El objetivo que se persigue es el de minimizar las pérdidas energéticas. Con la realización del estudio de cargas térmicas se puede conseguir ahorro de energía y reducción de emisiones de dióxido de carbono. Así pues, se pueden dimensionar de forma eficiente los equipos de climatización que se vayan a emplear así como el espesor del aislamiento del habitáculo.

Conseguir el óptimo del espesor del aislante de la vivienda es importante desde el punto de vista económico. Debido a que el muro que forma la casa tiene una superficie bastante grande, es necesario que éste se encuentre bien aislado, ya que a través de las paredes será por donde mayor cantidad de calor se pierde. Otro aspecto fundamental que se comenta párrafos arriba, es la temperatura interior a la que se encuentra la vivienda. Cuanto mayor sea el grado de confort del interior de la vivienda,

mayor será el consumo de energía, por lo que el gasto económico aumentará y además las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. Por todo esto la importancia de realizar un estudio del espesor del aislante, y por otro lado de representar las variaciones que conlleva los incrementos de temperatura en el interior de la casa. La labor de este último punto es la de concienciar a las personas, que un derroche de energía es perjudicial, ya que afecta a la economía de un País, así como al medioambiente.

# ***CAPÍTULO 2:***

# ***TRANSFERENCIA DE***

# ***CALOR.***

*El capítulo 2 explica los conceptos necesarios para poder entender el estudio realizado. Se define el título del propio capítulo, así como de los distintos tipos de transferencia de calor que existen. Es uno de los capítulos más importantes, se explica el método del circuito térmico equivalente, y por otro lado se calculan los coeficientes globales de transferencia de calor de los elementos que constituyen la vivienda.*

La primera parte de este trabajo de fin de grado y de más elevada importancia, sin la que no se podría realizar este estudio, es la de transferencia de calor. La transferencia de calor hace que sea posible calcular las pérdidas que tiene la vivienda a través de su muro, techo, suelo, puertas y ventanas.

El término transferencia de calor se podría definir como la energía en tránsito debido a una diferencia de temperatura. Siempre que exista diferencia de temperatura entre dos cuerpos, debe ocurrir transferencia de calor, ésta siempre irá del cuerpo más caliente al menos. Existen distintos modos de transferencia de calor que se explican a continuación.

## 2.1. Conducción.

La conducción de calor es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas basado en el contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro del cuerpo y entre diferentes cuerpos en contacto por medio de ondas.

La conducción de calor es muy reducida en el espacio ultra alto vacío y es nula en el espacio vacío ideal, espacio sin energía.

Se pueden cuantificar los procesos de transferencia de calor en términos de las ecuaciones o modelos apropiados. Mediante estas ecuaciones se puede calcular la cantidad de calor que se transfiere por unidad de tiempo. En el caso de la conducción la ecuación que se utiliza es lo que se conoce como Ley de Fourier.

$$q'' = -k \frac{dT}{dx} \text{ (Ec. 1)}$$

Con esta ecuación se representa que el flujo de calor es la velocidad con la que se transfiere el calor en la dirección  $x$ , perpendicular a la dirección de transferencia y es proporcional al gradiente de temperatura.  $K$ , es la constante de proporcionalidad y es una característica del material de la pared. El signo menos indica que el calor se transfiere en la dirección de la temperatura decreciente.



Ilustración del fenómeno de conducción a través de un sólido o fluido estacionario.

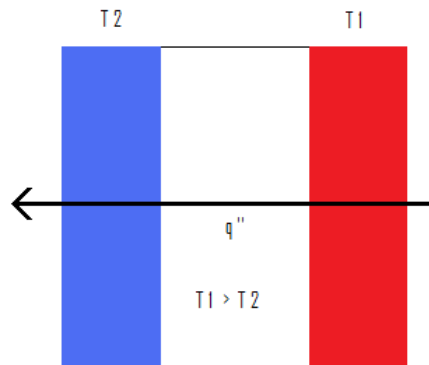


Figura 2. Fenómeno de conducción a través de un sólido o fluido estacionario.

## 2.2. Convección.

El fenómeno de transferencia de calor por convección lo forman dos mecanismos.

Además de la transferencia por difusión molecular la energía se transfiere por un fenómeno macroscópico, o movimiento de un fluido. El movimiento del fluido se atribuye con el hecho de que grandes número de moléculas se mueven de forma colectiva y esto en presencia de un gradiente de temperatura contribuye a la transferencia de calor.

Lo realmente interesante y útil para este estudio es la transferencia de calor por convección que tiene lugar entre un fluido en movimiento y una superficie cuando estos se encuentran a temperaturas distintas.

Existen dos tipos de convección, por un lado la convección natural y por el otro la convección forzada. Ésta última ocurre cuando el fluido es inducido por agentes externos, como pueden ser ventiladores. La convección natural tiene lugar cuando el fluido se mueve sin ningún factor externo que haga posible este movimiento, debido a la diferencia de densidad que a su vez esta es consecuencia de la diferencia de temperatura en el fluido.

Lo más común es que la energía que se transfiera sea energía sensible, pero también existen procesos que se verán más tarde en el desarrollo de este trabajo que pueden llevar asociado un calor latente, coligado al cambio de fase entre los estados líquido y vapor del fluido.

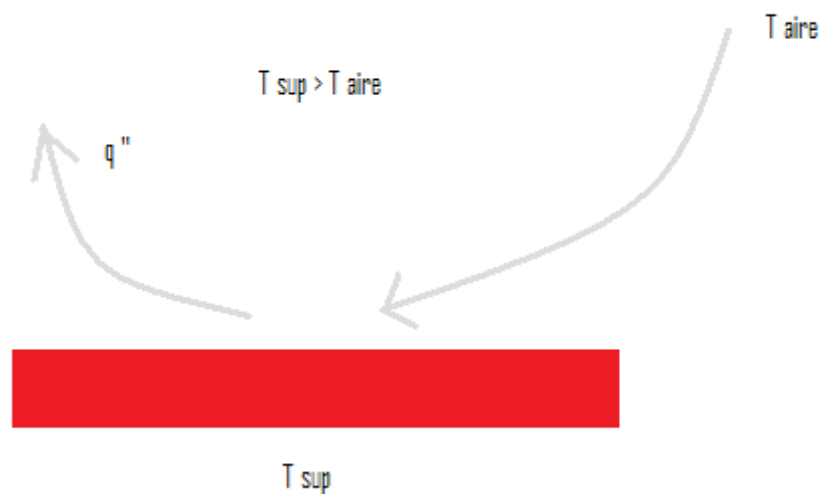
La ecuación que describe el proceso de transferencia de calor por convección se conoce como la ley de enfriamiento de Newton.

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \text{ (Ec. 2)}$$

Donde el flujo de calor convectivo es proporcional a la diferencia de temperatura entre la superficie y el fluido.

El parámetro  $h$ , se conoce como coeficiente de convección, cuyas unidades son  $W/m^2K$ , y depende de la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y un conjunto de propiedades de transporte y termodinámicas del fluido.

El flujo de calor es positivo cuando el calor se transfiere de la superficie al fluido y negativo en caso contrario.



**Figura 3. Convección de una superficie a un fluido en movimiento.**

### 2.3. Radiación.

El fenómeno de radiación se define como “energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita” [2]. La radiación puede provenir de todo tipo de superficies, tanto de sólidos, como líquidos o gases. La energía de radiación se comunica por ondas electromagnéticas y alternativamente mediante fotones. Es el único fenómeno de transferencia de calor que no necesita la presencia de un medio material para su transporte, además se dice que es más efectiva cuando la transferencia se da en el vacío.

El flujo de calor que emite una superficie real es siempre menor que el emitido por un cuerpo negro a esa misma temperatura. El cuerpo negro se puede aproximar como una cavidad con una pequeña oquedad. La ley de Steffan-Boltzmann, describe el comportamiento de un cuerpo negro.

$$E_b = \sigma T_s^4 \text{ (Ec.3)}$$

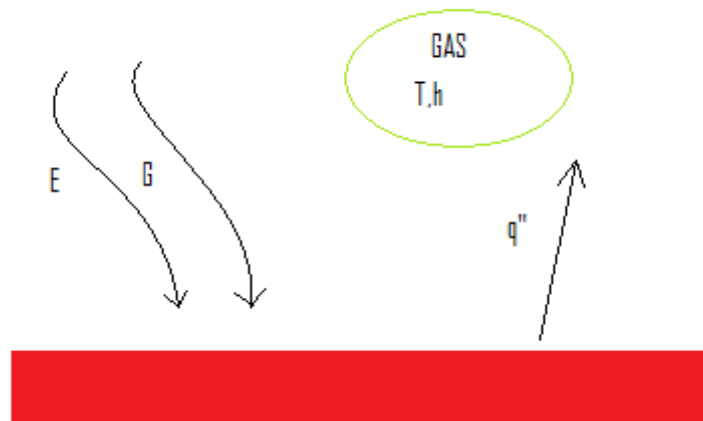
La transferencia de calor por radiación emitida por una superficie lo describe la siguiente ecuación:

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4 \text{ (Ec.4)}$$

Donde  $\varepsilon$  es una propiedad de superficie denominada emisividad. Da una idea de lo eficiente que es la superficie en relación con el cuerpo negro, su valor va entre 0 y 1. La radiación además puede ser incidente en la superficie desde los alrededores, se denomina irradiación y con la letra G. La capacidad que tiene el material de absorber esa energía radiada del exterior se denomina absorptividad ( $\alpha$ ) cuyo valor oscila entre 0 y 1, y la energía absorbida se representa por,

$$G_{abs} = \alpha G \text{ (Ec.5)}$$

La expresión que indica el flujo de calor transmitido por radiación, será la diferencia entre la energía emitida por la superficie y la que gana debida a la absorción de radiación.



**Figura 4. Transferencia de calor por radiación de una superficie de emisividad  $\varepsilon$ , absorptividad  $\alpha$  y temperatura  $T$ .**

La expresión que se utiliza para obtener el flujo de calor por radiación se muestra a continuación.

$$q''_{rad} = \frac{q}{A} = \varepsilon E_b(T_s) - \alpha G \quad (Ec. 6)$$

En el caso de que se tratase de un cuerpo gris, cuya absorptividad es igual a la emisividad, la cantidad neta de radiación transferida desde la superficie es,

$$q''_{rad} = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{sup}^4) \quad (Ec. 7)$$

Algunas veces ocurre simultáneamente que se da transferencia de calor por convección y radiación a un gas vecino, y la expresión resultante de ello sería la suma de la (Ec.2) y la (Ec.7).

Para un estudio de climatización como es el que se lleva a cabo en este documento, las temperaturas son bajas y por tanto la radiación es despreciable si se compara con la conducción y la convección.

## 2.4. Circuito térmico equivalente.

El método que se utiliza en el presente trabajo fin de grado para la realización de los cálculos de flujo de calor a través de los elementos que constituyen la vivienda es el método del "circuito térmico equivalente".

Este método se aplica para el caso en el que el flujo de calor sea unidimensional sin generación de energía y cuando las propiedades de los materiales que atraviesa el flujo de calor sean constantes.

Cuando se habla de conducción de electricidad se emplean resistencias eléctricas y para el caso de la conducción térmica se aplica el mismo concepto, pero en este caso se utilizan resistencias térmicas.

Dependiendo del fenómeno de transferencia de calor que tenga lugar, las ecuaciones de las resistencias térmicas serán diferentes.

Partiendo de la ley de Ohm, se pueden deducir las ecuaciones para el fenómeno de conducción y convección.

$$R_e = \frac{E_1 - E_2}{I} = \frac{L}{\sigma A} \quad (Ec. 8)$$

L, es la distancia que atraviesa la corriente eléctrica, sigma su conductividad y A el área que atraviesa. Para la conducción,

$$R_{t,cond} = \frac{T_1 - T_2}{q_x} = \frac{L}{KA} \quad (Ec. 9)$$

lo que la diferencia de la resistencia eléctrica, es K, conductividad térmica del material. Para el caso de convección,

$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA} \quad (Ec. 10)$$

se cambia la conductividad del material debido a que no tiene influencia la distancia que atraviese el flujo de calor, por el coeficiente de convección h, parámetro explicado anteriormente.

Todas estas ecuaciones, junto con el método de "circuito térmico equivalente" se emplean en el presente documento con el fin de realizar los cálculos lo más cercanos a la realidad, permitiendo así calcular el flujo de calor a través de los elementos que forman la vivienda.

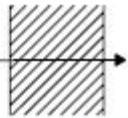
El primer cálculo que se realiza es para el muro de la vivienda, siendo éste el que mayor área tiene y por tanto desde un principio se piensa que las pérdidas de flujo de calor a través de dicho elemento serán mayores.

Para la realización de este cálculo es necesario conocer los materiales que forman el muro.

El muro de la vivienda de estudio está formado por una serie de capas de distintos materiales. La composición de estas capas desde el interior de la vivienda hacia el exterior lo forma los siguientes materiales: Guarnecido de yeso, ladrillo hueco, fibra de vidrio, ladrillo hueco y enfoscado de cemento.

Para calcular el coeficiente global de transferencia de calor del muro, se requiere conocer el espesor y la conductividad de dichos materiales.

Por otro lado es necesario tener en cuenta la transferencia de calor por convección. Los coeficientes de convección se obtienen del Código Técnico de la Edificación y estos dependen de la dirección del flujo de calor. En el caso del muro de la vivienda los valores de los coeficientes de convección se pueden obtener a través de la siguiente figura.

| Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor  | Rse  | Rsi  |
|--|------|------|
| Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal  | 0,04 | 0,13 |

**Figura5. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior en  $m^2K/W$ .[3]**

El circuito térmico correspondiente al muro de la vivienda se muestra en la figura (6).



**Figura 6. Circuito térmico equivalente correspondiente al muro de la vivienda.**

La temperatura interior de la vivienda se fija en  $20^\circ C$  para el período de calefacción y  $25^\circ C$  para el período de refrigeración, valores que fija el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios).

La temperatura exterior se obtiene de una serie de mediciones realizadas el año anterior. Se toma un valor cada hora, lo que hace obtener unos datos muy precisos.

A parte de las resistencias térmicas explicadas anteriormente, se pueden dar resistencias de contacto, debidas a que dos cuerpos se encuentran en contacto y por otro lado resistencias de ensuciamiento, a medida que pasa el tiempo la suciedad se deposita hasta crear una capa y originando así una resistencia.

## 2.5. Coeficiente global de transferencia de calor.

Todos los elementos que se estudian a continuación se encuentran distribuidos por capas, como se explica anteriormente con el muro de la vivienda, para ello se utiliza el coeficiente global de transferencia U, el cual se relaciona con el calor mediante la siguiente fórmula,

$$q_x = UA\Delta T \text{ (Ec. 11)}$$

$\Delta T$ : Diferencia total de temperaturas, para este caso es la diferencia de temperatura interior y exterior.

El coeficiente global de transferencia de calor se relaciona con la resistencia térmica total de la siguiente manera,

$$UA = \frac{1}{R_{total}} \text{ (Ec. 12)}$$

La resistencia total es la suma de todas las resistencias. Se pueden sumar tanto en paralelo como en serie dependiendo en cada caso como se encuentren situadas éstas. Con el fin de simplificar el cálculo, todas las operaciones se realizan con la distribución de las resistencias en serie.

Una vez que se adquieren los conocimientos necesarios con todo lo expuesto hasta ahora se ha de proceder a la realización de los cálculos, para ello lo primero es calcular el coeficiente global de transferencia de calor de todos los elementos que forman la vivienda. Para la realización correcta de las operaciones hay que tener en cuenta las pautas que marca el código técnico de la edificación, en especial se pone más inri en el apéndice E, cálculo de los parámetros característicos de la demanda.

### 2.5.1. Coeficiente global de transferencia de calor en el muro.

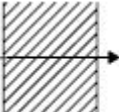
Se requiere conocer los materiales que forman el muro de la vivienda, así como el espesor y conductividad de estos. En la siguiente tabla se recogen los valores necesarios para la realización del cálculo.

| Material          | Yeso  | Ladrillo hueco | Fibra de vidrio | Ladrillo hueco | Enfoscado de cemento |
|-------------------|-------|----------------|-----------------|----------------|----------------------|
| Espesor (e)       | 0,015 | 0,09           | 0,04            | 0,09           | 0,015                |
| Conductividad (k) | 0,3   | 0,52           | 0,04            | 0,52           | 1,14                 |

**Tabla 1. Listado de materiales con su espesor y conductividad térmica que forman el muro de la vivienda.**

Las unidades del espesor en metros y las unidades de la conductividad en W/mK.

En la figura (7) se recogen los valores de las resistencias debidas a la convección que muestra el código técnico de la edificación para este tipo de cerramiento en contacto con el exterior.

| Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor   | Rse  | Rsi  |
|---|------|------|
| Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal  | 0,04 | 0,13 |

**Figura 7. Resistencias superficiales de cerramientos en contacto con el exterior en  $m^2K/W$ . [3]**

El coeficiente global de transferencia de calor en el muro se calcula de la siguiente forma

$$U_{muro} = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_{yeso}}{k_{yeso}} + \frac{e_{ladrillo}}{k_{ladrillo}} + \frac{e_{fibra}}{k_{fibra}} + \frac{e_{ladrillo}}{k_{ladrillo}} + \frac{e_{cemento}}{k_{cemento}} + R_{se}} \quad (Ec. 13)$$

El valor numérico para  $U_{muro} = 0,6332 \text{ W/m}^2K$



### 2.5.2. Coeficiente global de transferencia de calor en el techo.

Los materiales que forman el techo son los siguientes:

| Material          | Yeso | Fibra de vidrio | Bovedilla de hormigón | Hormigón con áridos |
|-------------------|------|-----------------|-----------------------|---------------------|
| Espesor (e)       | 0,03 | 0,04            | 0,25                  | 0,10                |
| Conductividad (K) | 0,3  | 0,04            | 1,39                  | 1,16                |

Tabla 2. Listado de materiales con su espesor y conductividad térmica que forman el techo de la vivienda.

El circuito térmico equivalente para el techo es:



Figura 8. Circuito térmico equivalente correspondiente al techo de la vivienda.

Igual que se hace antes con el muro, para el techo es necesario acudir al código técnico para consultar el valor de la resistencia por convección tanto exterior como interior.


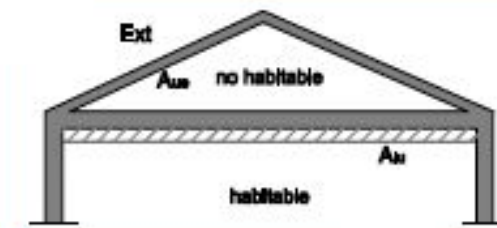
| Posición de la <i>partición interior</i> y sentido del flujo de calor  | $R_{se}$ | $R_{si}$ |
|--|----------|----------|
| Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente  | 0,10     | 0,10     |

Figura 9. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior con flujo de calor ascendente. Valores en  $m^2 K/W$ . [3]

Para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor en el techo se debe definir la habitabilidad del espacio. Para el caso de estudio, se pueden diferenciar dos zonas, una de ellas donde conviven las personas, zona habitable, y por otro lado una zona no habitable debido a la construcción del tejado. Para ilustrarlo se toma la siguiente figura:



**Figura 10. Ejemplo de la vivienda de estudio y las posiciones de los espacios habitables, no habitables y el aislamiento térmico. [3]**

Para calcular el coeficiente global de transferencia de calor en el techo de la vivienda, se ha de calcular primero el coeficiente de transferencia desde el espacio habitable al no habitable. Se toma como valor de temperatura de la zona no habitable la media aritmética de la temperatura interior y exterior. Una vez que se conoce este coeficiente de transferencia se ha de aplicar un coeficiente de reducción de temperatura debido al espacio no habitable. El coeficiente global de transferencia de calor en el muro es el resultado de la multiplicación de ambos coeficientes.

$$U_{techo} = bU_p \text{ (Ec. 14)}$$

$$U_p = \frac{1}{R_{si} + \frac{1}{R_{yeso}} + \frac{1}{R_{fibra}} + \frac{1}{R_{bovedilla}} + \frac{1}{R_{hormigón}} + R_{se}} \text{ (Ec. 15)}$$

$$U_p = 0,6385 W/m^2 K$$

Se necesita conocer la relación de áreas entre el espacio habitable y el espacio no habitable para calcular b.

$$\frac{A_{iu}}{A_{ue}} = \frac{110}{132,16} = 0,832 \text{ (Ec. 16)}$$

En la figura (11), que proporciona el código técnico interpolando el valor obtenido con la relación de áreas se calcula el valor del coeficiente de reducción por temperatura,  $b=0,59$  y el coeficiente global de transferencia de calor para el techo es de  $0,3767 W/m^2 K$ .

| $A_{lu}/A_{ue}$ | Aislado <sub>ue</sub> -No aislado <sub>lu</sub> |        |
|-----------------|---|--------|
|                 | CASO 1  | CASO 2 |
| <0.25           | 0,91  | 0,96   |
| 0.25 ≤ 0.50     | 0,77  | 0,90   |
| 0.50 ≤ 0.75     | 0,67  | 0,84   |
| 0.75 ≤ 1.00     | 0,59  | 0,79   |
| 1.00 ≤ 1.25     | 0,53  | 0,74   |
| 1.25 ≤ 2.00     | 0,44  | 0,67   |
| 2.00 ≤ 2.50     | 0,36  | 0,59   |
| 2.50 ≤ 3.00     | 0,32  | 0,54   |
| >3.00           | 0,28  | 0,50   |

Figura 11. Fragmento de la tabla que interesa en el caso de estudio para el cálculo del coeficiente de reducción b para techos. [3]

### 2.5.3. Coeficiente global de transferencia de calor en el suelo.

Para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor para el suelo es necesario conocer los materiales que lo constituyen. La siguiente tabla recoge todos los valores de material, espesor y conductividad.

| Material          | Madera | Solera de hormigón | Encanchado de piedra | Relleno de arena |
|-------------------|--------|--------------------|----------------------|------------------|
| Espesor (e)       | 0,07   | 0,45               | 0,45                 | 0,45             |
| Conductividad (k) | 0,14   | 1,63               | 2,33                 | 0,58             |

Tabla 3. Listado de materiales con su espesor y conductividad que forman el suelo de la vivienda.

Circuito térmico equivalente para el suelo:



Figura 12. Circuito térmico equivalente correspondiente al suelo de la vivienda.

Con los datos de la tabla (3) se puede calcular la resistencia térmica del suelo, necesaria para después el cálculo del coeficiente global de transferencia.

$$R_{suelo} = \frac{e_{madera}}{K_{madera}} + \frac{e_{hormigón}}{K_{hormigón}} + \frac{e_{piedra}}{K_{piedra}} + \frac{e_{arena}}{K_{arena}} \quad (Ec. 17)$$

$$R_{suelo} = 1,745 \, m^2 K/W$$

A parte de la resistencia térmica del suelo, para calcular el coeficiente global de transferencia para el suelo se necesita el rango de altura del muro enterrado, que está entre 1 y 2 metros y una longitud característica  $B'$  que se define de la siguiente manera

$$B' = \frac{A}{\frac{1}{2}P} = \frac{110}{\frac{1}{2}43,2} = 5,09 \quad (Ec. 18)$$

A: Área del suelo de la vivienda, cuyo valor queda recogido en el anexo.

P: Perímetro de dicho área.

Se recurre la tabla E.4 del CTE y con los datos que se obtienen con anterioridad, interpolando se calcula el valor del coeficiente global de transferencia de calor para el suelo. En este caso la vivienda tiene una solera con aislamiento continuo en toda su superficie y por ello se toman valores de la columna  $D \geq 1,5 \, m$  de la tabla E.4

|                |      | D = 0.5 m               |      |      |      |      | D = 1.0 m               |      |      |      |      | D ≥ 1.5 m               |      |      |      |      |
|----------------|------|-------------------------|------|------|------|------|-------------------------|------|------|------|------|-------------------------|------|------|------|------|
| R <sub>a</sub> |      | R <sub>a</sub> (m² K/W) |      |      |      |      | R <sub>a</sub> (m² K/W) |      |      |      |      | R <sub>a</sub> (m² K/W) |      |      |      |      |
| B'             | 0,00 | 0,50                    | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 | 0,50                    | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 | 0,50                    | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 |
| 1              | 2,35 | 1,57                    | 1,30 | 1,16 | 1,07 | 1,01 | 1,39                    | 1,01 | 0,80 | 0,66 | 0,57 | -                       | -    | -    | -    | -    |
| 5              | 0,85 | 0,69                    | 0,64 | 0,61 | 0,59 | 0,58 | 0,65                    | 0,58 | 0,54 | 0,51 | 0,49 | 0,64                    | 0,55 | 0,50 | 0,47 | 0,44 |
| 6              | 0,74 | 0,61                    | 0,57 | 0,54 | 0,53 | 0,52 | 0,58                    | 0,52 | 0,48 | 0,46 | 0,44 | 0,57                    | 0,50 | 0,45 | 0,43 | 0,41 |
| 7              | 0,66 | 0,55                    | 0,51 | 0,49 | 0,48 | 0,47 | 0,53                    | 0,47 | 0,44 | 0,42 | 0,41 | 0,51                    | 0,45 | 0,42 | 0,39 | 0,37 |
| 8              | 0,60 | 0,50                    | 0,47 | 0,45 | 0,44 | 0,43 | 0,48                    | 0,43 | 0,41 | 0,39 | 0,38 | 0,47                    | 0,42 | 0,38 | 0,36 | 0,35 |
| 9              | 0,55 | 0,46                    | 0,43 | 0,42 | 0,41 | 0,40 | 0,44                    | 0,40 | 0,38 | 0,36 | 0,35 | 0,43                    | 0,39 | 0,36 | 0,34 | 0,33 |
| 10             | 0,51 | 0,43                    | 0,40 | 0,39 | 0,38 | 0,37 | 0,41                    | 0,37 | 0,35 | 0,34 | 0,33 | 0,40                    | 0,36 | 0,34 | 0,32 | 0,31 |
| 12             | 0,44 | 0,38                    | 0,36 | 0,34 | 0,34 | 0,33 | 0,36                    | 0,33 | 0,31 | 0,30 | 0,29 | 0,36                    | 0,32 | 0,30 | 0,28 | 0,27 |
| 14             | 0,39 | 0,34                    | 0,32 | 0,31 | 0,30 | 0,30 | 0,32                    | 0,30 | 0,28 | 0,27 | 0,27 | 0,32                    | 0,29 | 0,27 | 0,26 | 0,25 |
| 16             | 0,35 | 0,31                    | 0,29 | 0,28 | 0,27 | 0,27 | 0,29                    | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,24 | 0,29                    | 0,26 | 0,25 | 0,24 | 0,23 |
| 18             | 0,32 | 0,28                    | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,25 | 0,27                    | 0,25 | 0,24 | 0,23 | 0,22 | 0,27                    | 0,24 | 0,23 | 0,22 | 0,21 |
| ≥20            | 0,30 | 0,26                    | 0,25 | 0,24 | 0,23 | 0,23 | 0,25                    | 0,23 | 0,22 | 0,21 | 0,21 | 0,25                    | 0,22 | 0,21 | 0,20 | 0,20 |

Figura 13. Transmitancia térmica  $U_S$  en  $W/m^2K$ . [3]

El valor que se obtiene para el coeficiente global de transferencia de calor para el suelo de la vivienda es de  $0,48 \, W/m^2K$ .

#### **2.5.4 .Coeficiente global de transferencia de calor en la puerta.**

La vivienda para la que se realiza este estudio solo dispone de una única puerta principal de madera de roble y barnizada de medidas 1,10 x 2,10 y de espesor 75 mm. El circuito térmico equivalente para la puerta es más fácil aún si cabe que para el resto de componentes, ya que solo está formada por una capa de madera en este caso y las resistencias térmicas por convección. Las resistencias térmicas por convección, se utilizan las mismas que para el caso del muro.



**Figura 14. Circuito térmico equivalente correspondiente a la puerta de la vivienda.**

Siendo la conductividad de la madera de roble  $0,209 \text{ W/m}^2\text{K}$  el coeficiente global de transferencia de calor para la puerta es de  $1,89 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

$$U_{puerta} = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_{madera}}{K_{madera}} + R_{se}} \quad (Ec.19)$$

#### **2.5.5. Coeficiente global de transferencia de calor en las ventanas.**

En la vivienda hay un total de 7 ventanas todas ellas de doble acristalamiento tipo Climalit, PlanithermUltran N de 4 milímetros de espesor y 12 milímetros de cámara de aire cuyo coeficiente global de transferencia de calor es  $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . El cálculo del coeficiente global de transferencia de calor se ha realizado con un programa informático, Calumen II facilitado por el fabricante de ventanas Sant Gobain Glass. Para la verificación de los resultados obtenidos del programa se ha procedido a realizar el cálculo a mano como se había hecho en los casos anteriores.

El circuito térmico equivalente para la ventana es:



**Figura 15. Circuito térmico equivalente correspondiente a las ventanas de la vivienda.**

Si se realiza el cálculo de forma manual con los espesores que facilita el fabricante tanto del vidrio como de la cámara de aire, se obtiene un coeficiente global de transferencia de calor para las ventanas de  $1,47 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Esto se debe a que el programa tiene en cuenta otros factores como la radiación y otra serie de coeficientes. Por tanto de ambos valores que se conocen se elige el más restrictivo, es decir, el valor que facilita el programa informático.

#### **2.5.6. Limitación de demanda energética.**

La demanda energética de los edificios se limita en función del clima de la localidad en la que se ubican. Para la limitación de la demanda energética se establecen 12 zonas climáticas identificadas mediante una letra, que corresponde al período de invierno y un número correspondiente al período de verano. La zona climática de cualquier localidad en la que se encuentra la vivienda se obtiene de la figura (16), obtenida del código técnico de la edificación en función de la altura de la localidad en la que se encuentra la vivienda y la altura de referencia de la capital de provincia. La localidad en la que se encuentra la vivienda es Puerto de San Vicente, pueblo situado al oeste de Toledo colindando con Cáceres, de altitud 740 (m). La capital de provincia que se utiliza como referencia es Toledo, cuya altitud es de 445 (m) por lo que la diferencia de cota es de 295 (m). [4]

| Capital de provincia         | Capital | Altura de referencia (m) | Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m) |              |              |               |       |
|------------------------------|---------|--------------------------|--|--------------|--------------|---------------|-------|
|                              |         |                          | ≥200<br><400   | ≥400<br><600 | ≥600<br><800 | ≥800<br><1000 | ≥1000 |
| Albacete                     | D3      | 677                      | D2   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Alicante                     | B4      | 7                        | C3   | C1           | D1           | D1            | E1    |
| Almería                      | A4      | 0                        | B3   | B3           | C1           | C1            | D1    |
| Ávila                        | E1      | 1054                     | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Badajoz                      | C4      | 168                      | C3   | D1           | D1           | E1            | E1    |
| Barcelona                    | C2      | 1                        | C1   | D1           | D1           | E1            | E1    |
| Bilbao                       | C1      | 214                      | D1   | D1           | E1           | E1            | E1    |
| Burgos                       | E1      | 881                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Cáceres                      | C4      | 385                      | D3   | D1           | E1           | E1            | E1    |
| Cádiz                        | A3      | 0                        | B3   | B3           | C1           | C1            | D1    |
| Castellón de la Plana        | B3      | 18                       | C2   | C1           | D1           | D1            | E1    |
| Ceuta                        | B3      | 0                        | B3   | C1           | C1           | D1            | D1    |
| Ciudad real                  | D3      | 630                      | D2   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Córdoba                      | B4      | 113                      | C3   | C2           | D1           | D1            | E1    |
| Coruña (a)                   | C1      | 0                        | C1   | D1           | D1           | E1            | E1    |
| Cuenca                       | D2      | 975                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Donostia-San Sebastián       | C1      | 5                        | D1   | D1           | E1           | E1            | E1    |
| Girona                       | C2      | 143                      | D1   | D1           | E1           | E1            | E1    |
| Granada                      | C3      | 754                      | D2   | D1           | E1           | E1            | E1    |
| Guadalajara                  | D3      | 708                      | D1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Huelva                       | B4      | 50                       | B3   | C1           | C1           | D1            | D1    |
| Huesca                       | D2      | 432                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Jaén                         | C4      | 436                      | C3   | D2           | D1           | E1            | E1    |
| León                         | E1      | 346                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Lleida                       | D3      | 131                      | D2   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Logroño                      | D2      | 379                      | D1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Lugo                         | D1      | 412                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Madrid                       | D3      | 589                      | D1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Málaga                       | A3      | 0                        | B3   | C1           | C1           | D1            | D1    |
| Melilla                      | A3      | 130                      | B3   | B3           | C1           | C1            | D1    |
| Murcia                       | B3      | 25                       | C2   | C1           | D1           | D1            | E1    |
| Ourense                      | C2      | 327                      | D1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Oviedo                       | C1      | 214                      | D1   | D1           | E1           | E1            | E1    |
| Palencia                     | D1      | 722                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Palma de Mallorca            | B3      | 1                        | B3   | C1           | C1           | D1            | D1    |
| Palmas de Gran Canaria (las) | A3      | 114                      | A3   | A3           | A3           | B3            | B3    |
| Pamplona                     | D1      | 456                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Pontevedra                   | C1      | 77                       | C1   | D1           | D1           | E1            | E1    |
| Salamanca                    | D2      | 770                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Santa Cruz de Tenerife       | A3      | 0                        | A3   | A3           | A3           | B3            | B3    |
| Santander                    | C1      | 1                        | C1   | D1           | D1           | E1            | E1    |
| Segovia                      | D2      | 1013                     | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Sevilla                      | B4      | 9                        | B3   | C2           | C1           | D1            | E1    |
| Soria                        | E1      | 984                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Tarragona                    | B3      | 1                        | C2   | C1           | D1           | D1            | E1    |
| Teruel                       | D2      | 995                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Toledo                       | C4      | 445                      | D3   | D2           | E1           | E1            | E1    |
| Valencia                     | B3      | 8                        | C2   | C1           | D1           | D1            | E1    |
| Valladolid                   | D2      | 704                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Vitoria-Gasteiz              | D1      | 512                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Zamora                       | D2      | 617                      | E1   | E1           | E1           | E1            | E1    |
| Zaragoza                     | D3      | 207                      | D2   | E1           | E1           | E1            | E1    |

Figura 16. Listado de zonas climáticas y cambio de zona en función de la altitud.[3]

Como la diferencia de altura entre la localidad en la que se encuentra la vivienda y la capital de provincia es de 295 (m) se toma como zona climática, la zona D3.

Una vez tomada la zona climática para la vivienda, se ha de proceder a verificar los valores límites de los parámetros característicos medios, que para la zona climática de la localidad lo muestra la figura (17).

| ZONA CLIMÁTICA D3  |   |
|--|---|
| Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno | $U_{Lim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ |
| Transmitancia límite de suelos   | $U_{Lim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ |
| Transmitancia límite de cubiertas  | $U_{Lim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ |
| Factor solar modificado límite de lucernarios                                      | $F_{Lim}: 0,28$                         |

Figura 17. Valores límite de los parámetros característicos medios. [3]

Sin la necesidad de tener que volver hacia atrás para tener que comparar los valores calculados para compararlos con los valores límite, se expone la tabla (4) para verificar que la vivienda está dentro de los límites desde el punto de vista energético.

| Elemento                        | Muro   | Suelo | Techo  |
|---------------------------------|--------|-------|--------|
| Valor calculado<br>( $W/m^2K$ ) | 0,6332 | 0,48  | 0,3767 |
| Valor límite<br>( $W/m^2K$ )    | 0,66   | 0,49  | 0,38   |

**Tabla 4. Valores de los coeficientes globales de transferencia de muro, suelo y techo con los valores límites correspondientes.**

Con los valores agrupados se verifica que los cerramientos se encuentran dentro de los límites marcados por el código técnico de la edificación, por tanto se puede construir dicha vivienda sin problema alguno cumpliendo la normativa española.

### **2.5.7. Área de transferencia de calor.**

Según la (Ec.12) vista anteriormente, el flujo de calor depende de la diferencia de temperatura interior y exterior, del coeficiente global de transferencia de calor y del área de transferencia de calor. Con todos los valores conocidos a falta de conocer el valor del área de transferencia se facilita la tabla (5), en la que aparecen todas las áreas de transferencia de calor, obtenidas de los planos de la vivienda que se adjuntan en el ANEXO I.

| Elemento       | Muro   | Suelo | Techo | Tejado | Ventanas | Puerta |
|----------------|--------|-------|-------|--------|----------|--------|
| Área ( $m^2$ ) | 118,73 | 110   | 110   | 132,16 | 13,92    | 2,31   |

**Tabla 5. Área de los elementos de estudio de la vivienda.**



## 2.6. Psicrometría.

No se debe obviar que aparte del calor sensible calculado hasta el momento, debido a la diferencia de temperatura, en la vivienda se da también un calor latente. Éste calor es debido a los electrodomésticos que se encuentran en la vivienda y a las personas que viven en esta. El calor latente es debido a una diferencia de humedad. La psicrometría se encarga de su estudio.

El término psicrometría se puede definir como la ciencia que trata de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y del efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y sobre el confort humano [5]. Todos los cálculos psicrométricos se realizan mediante una serie de ecuaciones, que se explican en el capítulo siguiente.

El diagrama psicrométrico representa los cinco posibles cambios que existen en la condición del aire. Los distintos procesos que conviven son: procesos de calor latente constante, con temperatura de bulbo seco constante, procesos de calor latente constante, con un contenido en humedad y una temperatura de rocío constante, procesos adiabáticos, procesos de humedad relativa constante o una combinación cualquiera de los procesos anteriores.

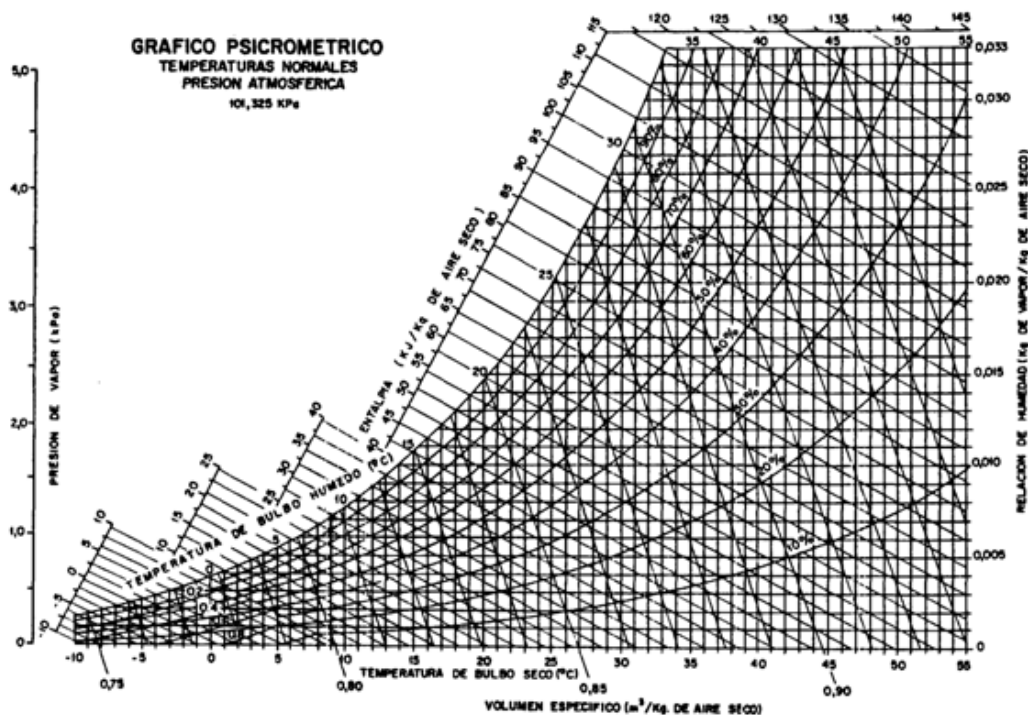


Figura 18. Diagrama psicrométrico.

# ***CAPÍTULO 3: CARGAS TÉRMICAS.***

Este tercer capítulo recoge el grueso del trabajo, se presentan las demandas de potencia que tiene la vivienda tanto para el período de calefacción, como para el de refrigeración. Se incluye además la carga térmica total anual. Se presentan días tipo del año, para mostrar las variaciones de temperatura que surgen a lo largo de un día y en consecuencia las cargas térmicas que tienen lugar.

A la hora de calcular las cargas térmicas se ha de dejar claro que va a ser una simulación de estudio a lo largo de un año. Un año se puede dividir en horas, días, semanas, meses o en estaciones.

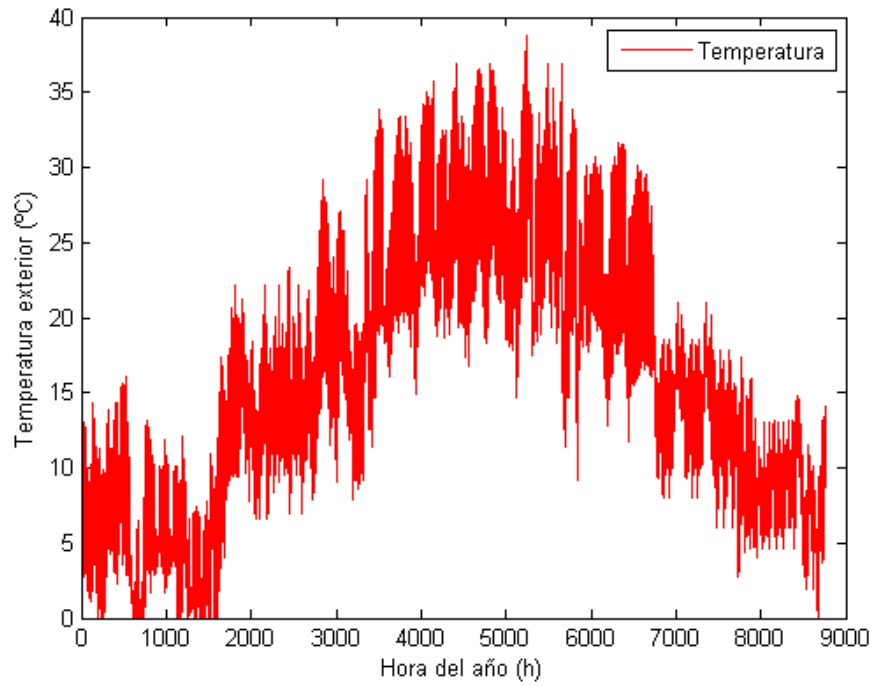
Para este estudio se va a dividir el año en dos períodos, el período invernal y el período estival. Para el cálculo de las cargas térmicas es necesario conocer el coeficiente global de transferencia de calor de las superficies susceptibles de ello, así como su área, la diferencia de temperatura entre el interior y exterior de la vivienda y la diferencia de humedades relativas interior y exterior.

El período invernal es el período perteneciente al período de calefacción, mientras que el período estival es el que se refiere al período de refrigeración. Este último comienza a partir del 12 de Abril a las 15:00 h y termina el 7 de Octubre a las 22:00h.

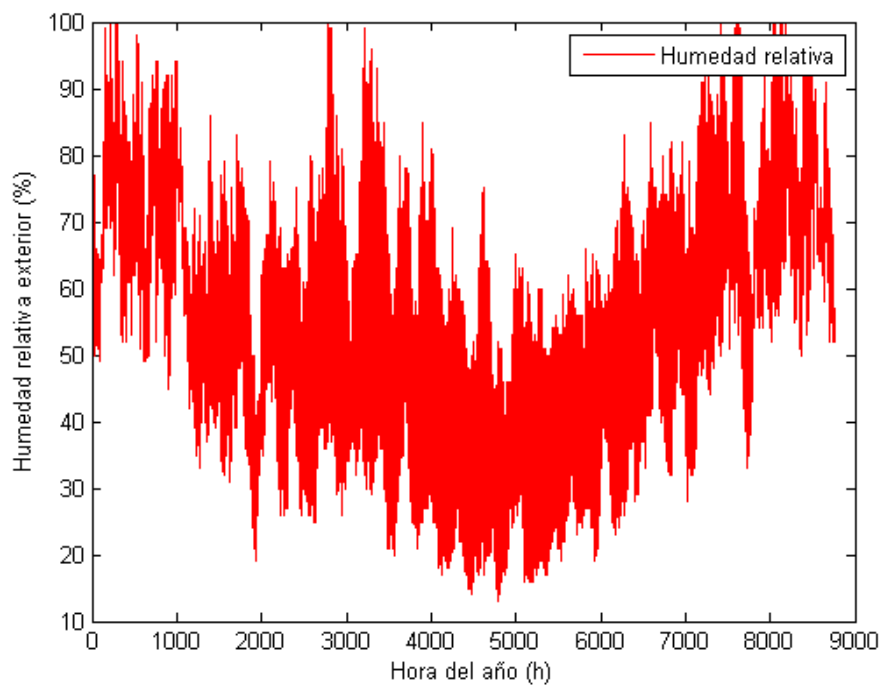
Los valores de temperatura interior y de humedad relativa los fija el RITE. Para el período de invierno marca unos valores de temperatura interior entre 20°C y 23°C y unos valores de humedad relativa entre el 40% y el 50 %. Para el período de verano el marca valores de temperatura entre 23°C y 25°C y valores de humedad relativa entre 45% y 60%.

Los valores de temperatura exterior y de humedad relativa quedan definidos por dos vectores, en los que se recoge un valor por cada hora del año, haciendo que el cálculo sea lo más exacto posible.

Para tener un mayor conocimiento de los valores de temperatura y de humedad relativa en el exterior se recogen dos gráficas con los valores de estos a lo largo del año en los gráficos (1) y (2).



**Gráfico 1. Temperatura exterior en grados centígrados cada hora del año.**



**Gráfico 2. Humedad relativa en tanto por ciento cada hora del año.**

### 3.1. Cargas térmicas en el período de calefacción.

Para el período de calefacción la temperatura interior de la vivienda se fija en 20°C. Se calculan las cargas térmicas por transmisión y las cargas térmicas debidas a ventilación e infiltraciones. De aquí en adelante se irán explicando una a una.

#### **3.1.1. Carga térmica de transmisión**

Este tipo de carga es la carga sensible, debida a la diferencia de temperaturas, en la que la pérdida de calor se origina desde el interior de la vivienda hacia el exterior debida a los cerramientos.

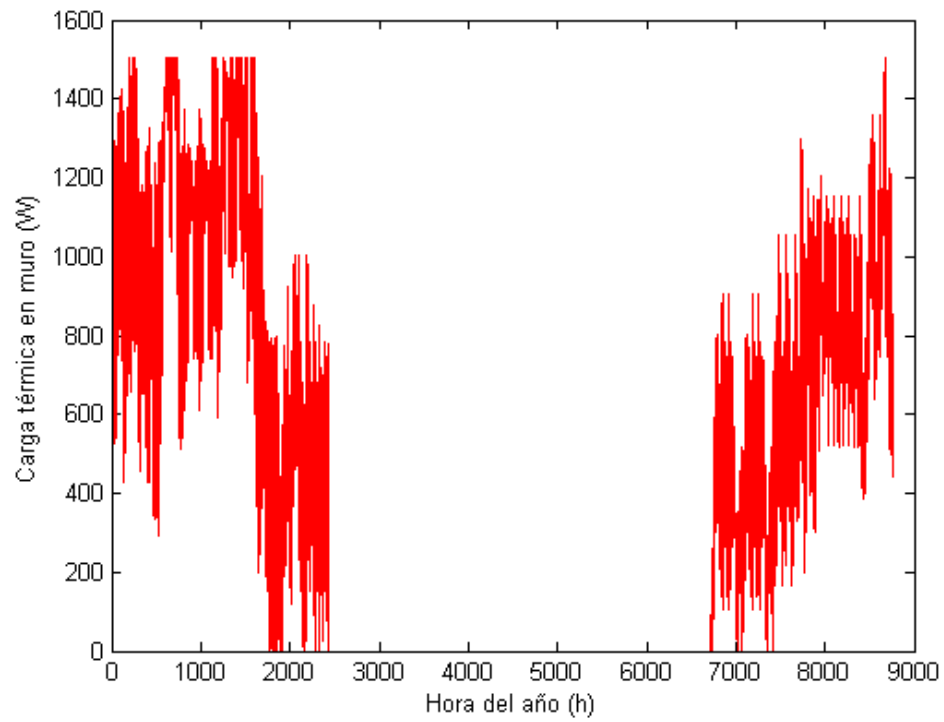
La ecuación (20) es la que modela esta carga,

$$Q_{transmisión} = U_{cerramiento} A_{cerramiento} (T_{interior} - T_{exterior}) \quad (Ec. 20)$$

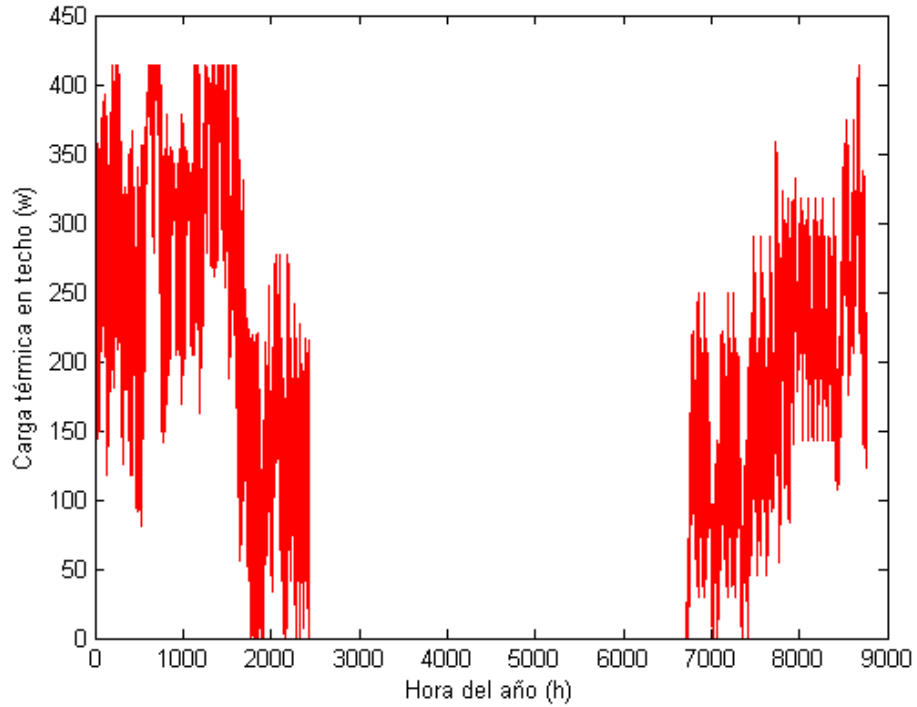
Una a una se irá viendo las cargas de transmisión a través del muro, techo, suelo, ventanas y puertas. La diferencia de temperatura es la misma para todos los casos. Las únicas variables que son distintas son el área y los coeficientes globales de transferencia. De momento este estudio es sólo para el período de calefacción, por tanto los valores correspondientes al período de refrigeración son cero.

Los gráficos (3), (4), (5) y (6) respectivamente muestran respectivamente la carga térmica de transmisión en el muro, techo, ventanas y puerta.

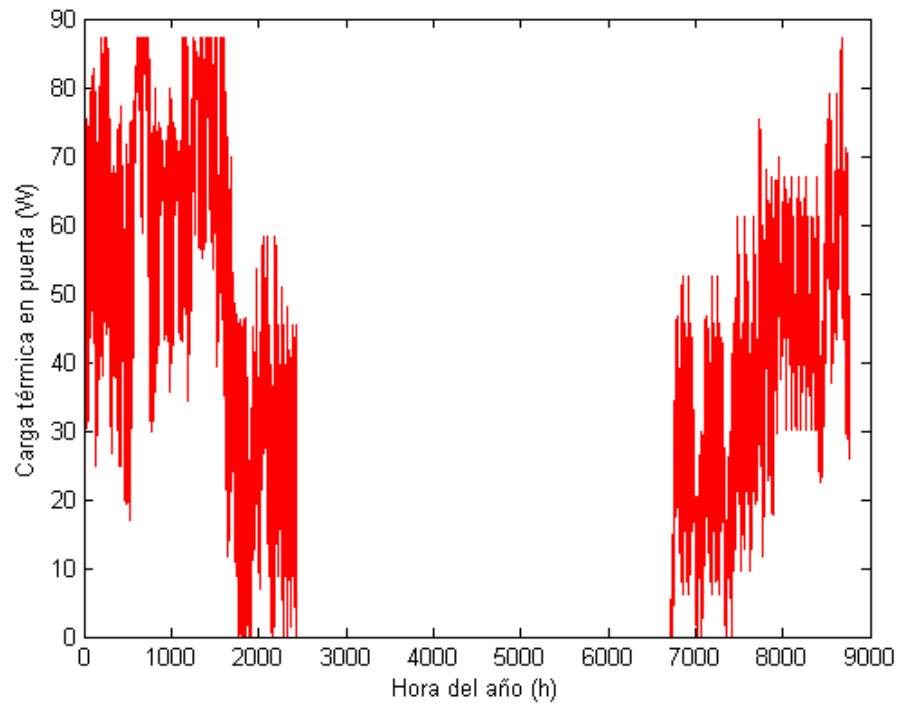
Para la carga térmica de transmisión en el suelo no se presenta el gráfico ya que se trata de un valor constante, debido a que la temperatura exterior del suelo de la vivienda en el período de calefacción en Puerto de San Vicente se encuentra a una temperatura media de 8°C.



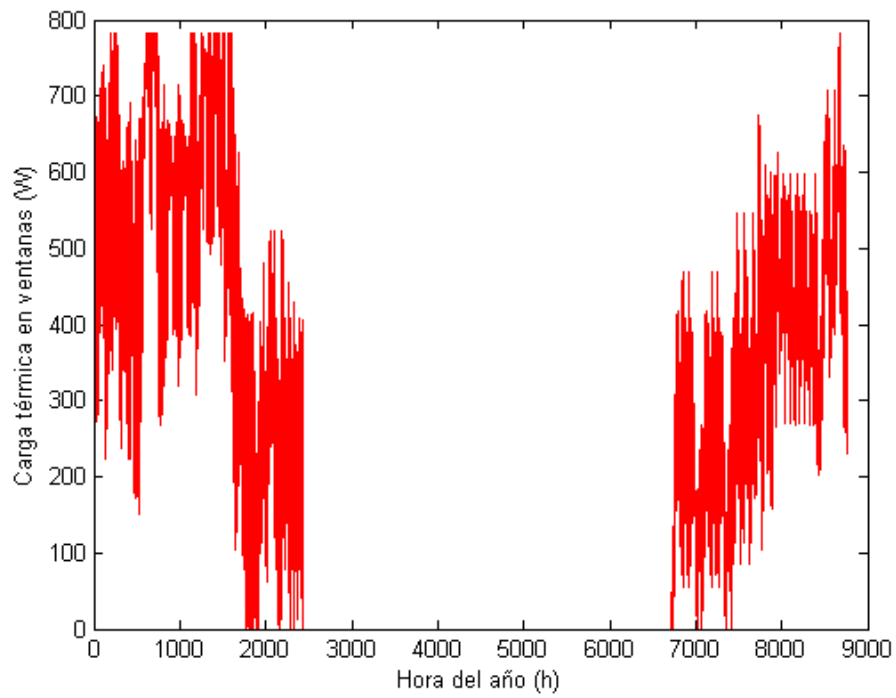
**Gráfico 3. Carga térmica en el muro en el período de calefacción.**



**Gráfico 4. Carga térmica en el techo en el período de calefacción.**



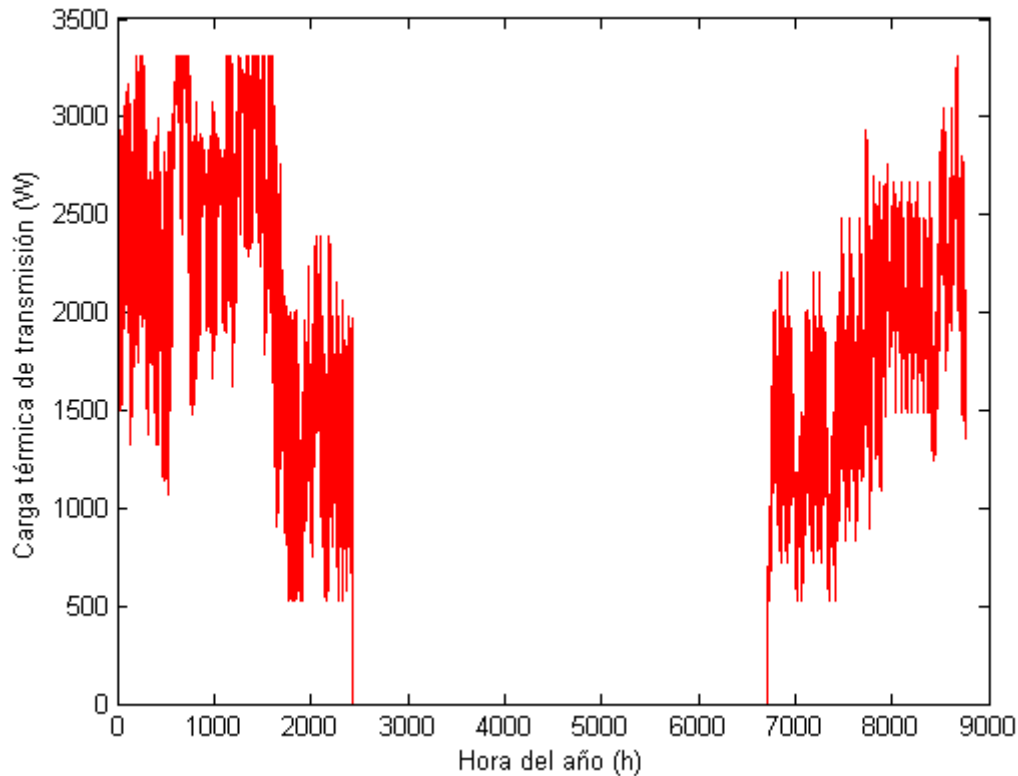
**Gráfico 5. Carga térmica en la puerta en el período de calefacción.**



**Gráfico 6. Carga térmica en ventanas en el período de calefacción.**

La carga térmica de transmisión en el período de calefacción es la suma de todas las cargas térmicas calculadas anteriormente. La siguiente ecuación muestra la carga térmica de transmisión en el período de calefacción.

$$Q_{transmisión} = Q_{muro} + Q_{techo} + Q_{suelo} + Q_{puertas} + Q_{ventanas} \quad (Ec. 21)$$



**Gráfico 7. Carga térmica de transmisión en el período de calefacción.**

Se pueden comparar las distintas cargas térmicas que componen la carga térmica por transmisión de la vivienda en el período de calefacción. Como era de esperar la carga térmica más elevada es la carga térmica en el muro, debido a que la superficie de transmisión es muy grande. Por el contrario la carga térmica más pequeña se debe a la carga térmica en la puerta, ya que la superficie de transmisión es muy pequeña y el bajo coeficiente global de transferencia de la madera de roble.



### **3.1.2. Carga térmica de ventilación e infiltraciones.**

La vivienda necesita un mínimo de ventilación interior para evitar la sensación desagradable que produce el aire viciado. Por ello es necesario introducir una determinada cantidad de aire del exterior, lo que se denomina ventilación. Además de la ventilación se va a tener en cuenta las infiltraciones, estas son debidas a la diferencia de presión entre el interior y el exterior de la vivienda. El caudal de aire de infiltración depende de la estanqueidad de puertas y ventanas entre otros muchos factores.

Las infiltraciones por puertas y ventanas durante el invierno son debidas a la presión dinámica del viento y al efecto chimenea. El aire exterior penetra por las partes bajas, se calienta en el interior, asciende y se evacúa por las partes altas, dándose un movimiento de circulación natural.

El cálculo de la carga térmica de ventilación e infiltraciones se podría hacer por separado, pero se va a realizar de forma conjunta ya que emplean las mismas ecuaciones y lo único que varían son los volúmenes de aire. Ambos tipos de cargas están formados por dos componentes, por un lado la componente sensible, ecuación (22) y por otro la componente latente, ecuación (23).

$$Q_{senVI} = (V_{av} + V_{ai})C_{pa}\rho_a(T_{int} - T_{ext}) \quad (Ec. 22)$$

$$Q_{latVI} = (V_{av} + V_{ai})\rho_a H_{fg} |w_{int} - w_{ext}| \quad (Ec. 23)$$

Si se acude al Código Técnico de la Edificación se puede determinar el caudal de aire de ventilación mínimo que debe tener la vivienda. El valor depende de la superficie de la vivienda y de las personas que convivan en ella.

La figura (19) muestra los caudales mínimos exigidos que se utilizan para calcular el caudal de ventilación.

|                   |                               | Caudal de ventilación mínimo exigido $q_v$<br>en l/s |                |                                   |
|-------------------|-------------------------------|--|----------------|-----------------------------------|
|                   |                               | Por ocupante   | Por $m^2$ útil | En función de<br>otros parámetros |
| Lo-<br>ca-<br>les | Dormitorios                   | 5  |                |                                   |
|                   | Salas de estar y comedores    | 3  |                |                                   |
|                   | Aseos y cuartos de baño       |  |                | 15 por local                      |
|                   | Cocinas                       |  | 2              |                                   |
|                   | Trasteros y sus zonas comunes |  | 0,7            |                                   |
|                   | Aparcamientos y garajes       |  |                | 120 por plaza                     |
|                   | Almacenes de residuos         |  | 10             |                                   |

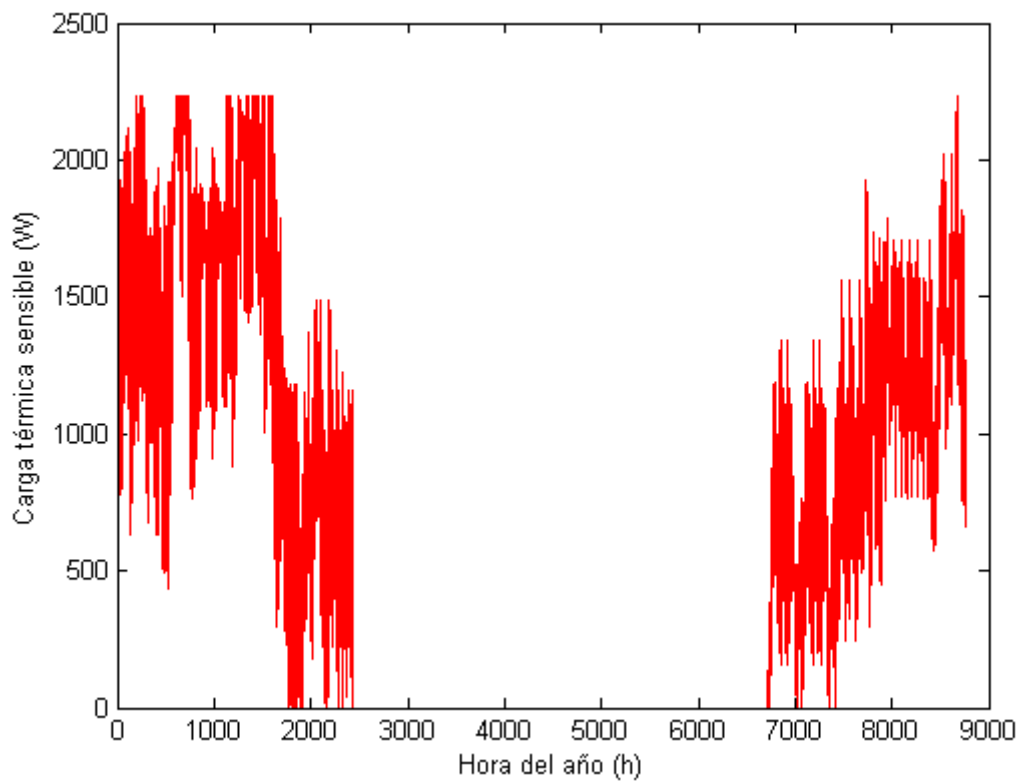
**Figura 19. Caudales de ventilación mínimos exigidos. [6]**

La vivienda está planeada para que convivan en ella 4 personas. Los caudales mínimos de aire por ventilación que se necesitan se recogen en la tabla (6).

| Estancia               | Superficie ( $m^2$ ) | Caudal de aire ( $l/s$ ) |
|------------------------|----------------------|--------------------------|
| Dormitorio principal 1 | -                    | 10                       |
| Dormitorio principal 2 | -                    | 10                       |
| Dormitorio secundario  | -                    | 5                        |
| Salón                  | -                    | 12                       |
| Baño                   | -                    | 15                       |
| Cocina                 | 12                   | 24                       |
| Recibidor              | 12                   | 8,4                      |

**Tabla 6. Caudales mínimos en cada estancia de la casa.**

La suma total de caudal de aire de ventilación es de  $84,4 \text{ l/s}$ . Para el cálculo del caudal de infiltración se tiene en cuenta que por las puertas el caudal de infiltración es del  $2,5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$  y por las ventanas es de  $1,8 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ . En el gráfico (8) se muestra la carga térmica sensible por ventilación e infiltración en el período de calefacción.



**Gráfico 8. Carga térmica sensible en el período de calefacción.**

Para el cálculo de la componente latente se cree necesario el deducir la fórmula que contempla esta carga térmica.

Tanto en la atmósfera del interior de la vivienda como en el exterior de esta conviven partículas de aire y de vapor. Para el caso de la componente latente se tiene que tener en cuenta la humedad relativa.

Para poder obtener la variable  $w$ , se parte de la ley de Dalton y el proceso hasta obtener dicha variable se explica a continuación:

Ley de Dalton:  $P_{atm} = P_{pa} + P_{pv}$  (Ec. 24)

Siendo

$P_{pa}$ : Presión parcial de aire.

$P_{pv}$ : Presión parcial de vapor.

Partiendo de que se trata de gases ideales

$$P_{pv}V = m_v R_{gv} T \quad (\text{Ec. 25})$$

$$P_{pa}V = m_a R_{ga}T \quad (Ec. 26)$$

Se conoce de antemano que

$$w = \frac{m_v}{m_a} \quad (Ec. 27)$$

Sustituyendo en la ecuación (27)

$$w = \frac{P_{pv} R_{ga}}{P_{pa} R_{gv}} \quad (Ec. 28)$$

La constante universal de los gases  $R_g$  se puede expresar de la siguiente manera

$$R_g = \frac{R}{PM} \quad (Ec. 29)$$

Sustituyendo en (Ec.28)

$$w = \frac{P_{pv} PM_v}{P_{pa} PM_a} \quad (Ec. 30)$$

De la ecuación (31) se conoce que

$$\frac{PM_v}{PM_a} = 0,622$$

La humedad se puede definir como

$$\phi = \frac{P_{pv}}{P_{sat(T)}} \rightarrow P_{pv} = \phi P_{sat(T)} \quad (Ec. 31)$$

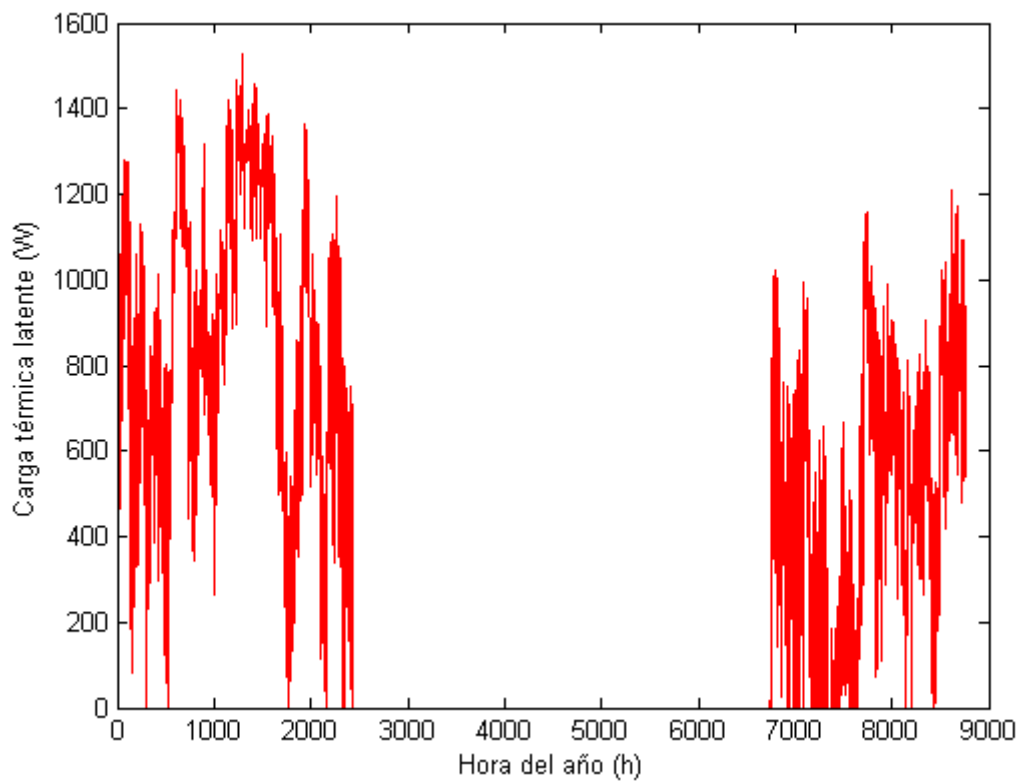
La atmosfera está formada por partículas de aire y de vapor. Entonces,

$$P_{atm} = P_{pa} + P_{pv} \rightarrow P_{pa} = P_{atm} - \phi P_{sat(T)} \quad (Ec. 32)$$

Finalmente se llega a

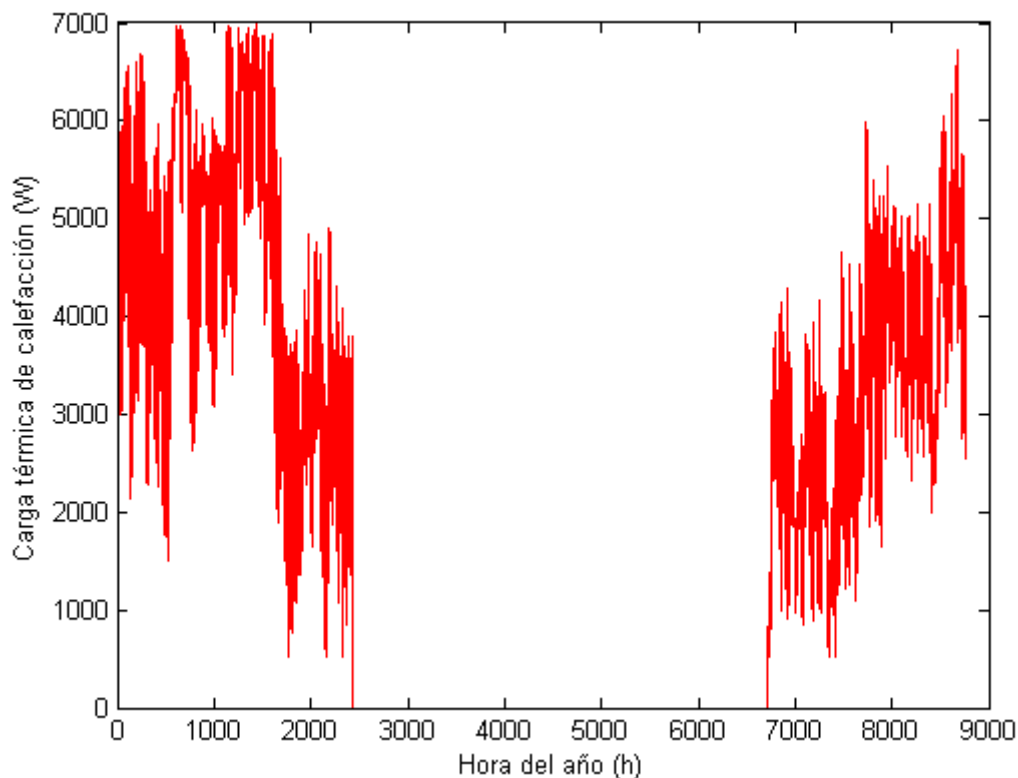
$$w = 0,622 \frac{\phi P_{sat(T)}}{P_{atm} - \phi P_{sat(T)}} \quad (Ec. 33)$$

El gráfico que ilustra la componente latente para la carga térmica por ventilación e infiltraciones es el gráfico (9).



**Gráfico 9. Carga térmica latente en el período de calefacción.**

Si se suman las dos cargas térmicas que se dan en el período de calefacción, carga térmica por transmisión y la carga térmica por ventilación e infiltraciones queda calculada la carga térmica total para el período de calefacción que se muestra en el gráfico (10).



**Gráfico 10. Carga térmica total en el período de calefacción.**

Del gráfico (10) se conoce el valor numérico de la potencia que demanda la vivienda en el período de calefacción, siendo éste 7 KW. Por tanto la vivienda debe contar con un sistema de calefacción capaz de suministrar esta potencia ya que en unos determinados días del año la vivienda demanda esta potencia.

### 3.2. Cargas térmicas en el período de refrigeración.

Para el periodo de refrigeración además de tener en cuenta las cargas térmicas por transmisión y por ventilación e infiltraciones se han de tener en cuenta las cargas térmicas internas y la carga térmica por radiación, aunque esta última no se va a calcular ya que se va a diseñar un elemento arquitectónico con el que se va a evitar este tipo de carga, beneficiando así a la refrigeración de la vivienda ya que la potencia demandada será menor.

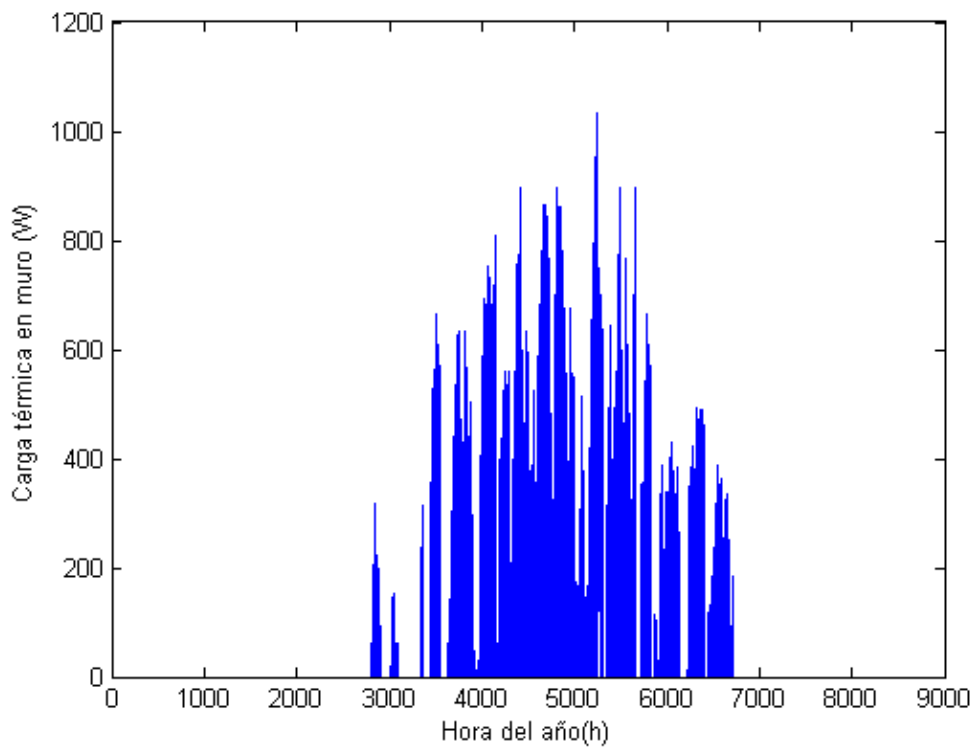
Igual que para el período de calefacción, se siguen las reglas que marca el código técnico de la edificación. La temperatura interior de la vivienda para este período se

fija en 25°C y la humedad relativa sigue siendo la misma que para el período de calefacción, 50%.

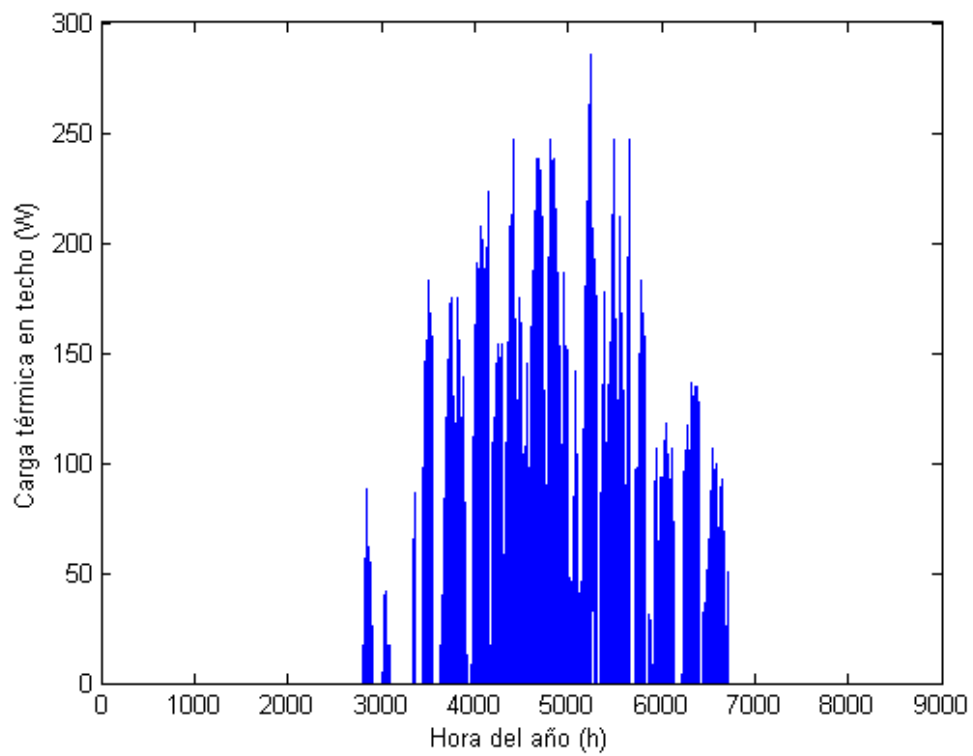
### ***3.2.1. Carga térmica de transmisión.***

Este tipo de carga térmica es de gran importancia debido a la superficie de transmisión tan elevada. Para el cálculo de ésta se utiliza la misma fórmula que para el período de calefacción (Ec.21). La única diferencia entre ambos períodos es la diferencia de temperatura, y ahora se tiene que restar la temperatura exterior menos la temperatura interior de la vivienda.

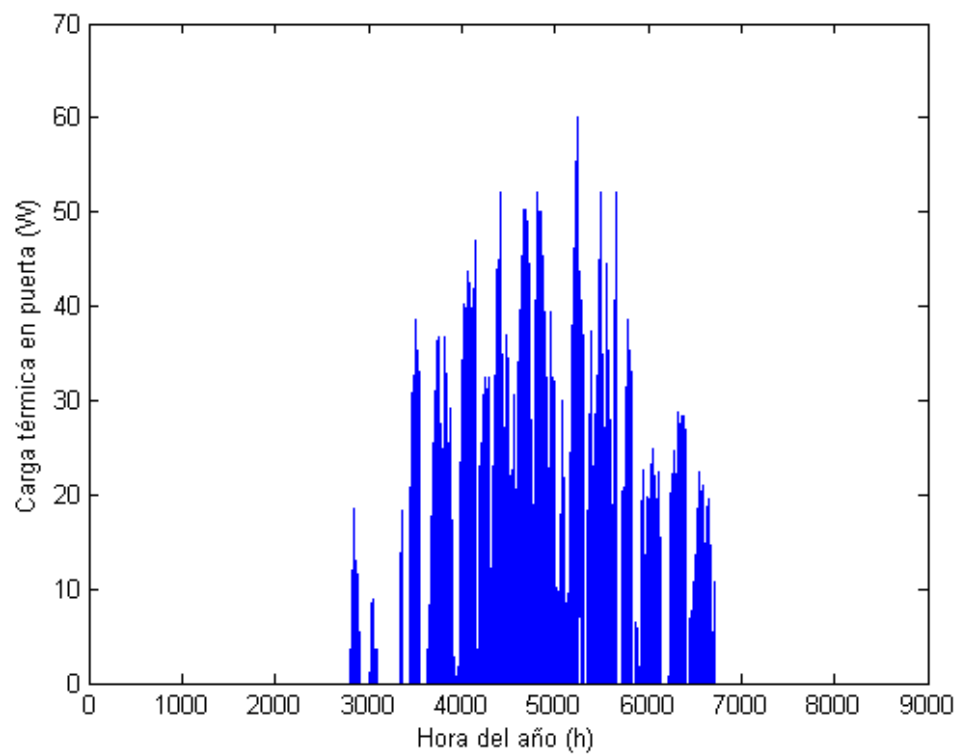
Los gráficos (11), (12), (13) y (14) muestran la evolución de la carga térmica debida a la transmisión en el muro, en el techo, en puertas y ventanas.



**Gráfico 11. Carga térmica en el muro en el período de refrigeración.**

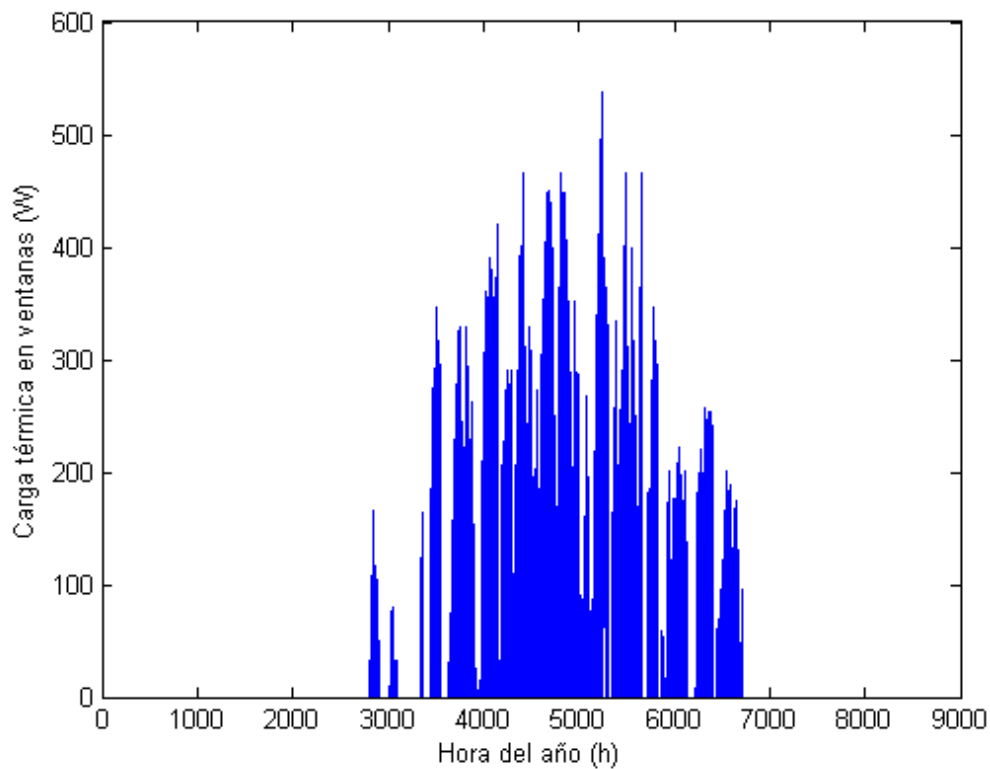


**Gráfico 12. Carga térmica en el techo en el período de refrigeración.**



**Gráfico 13. Carga térmica en la puerta en el período de refrigeración.**

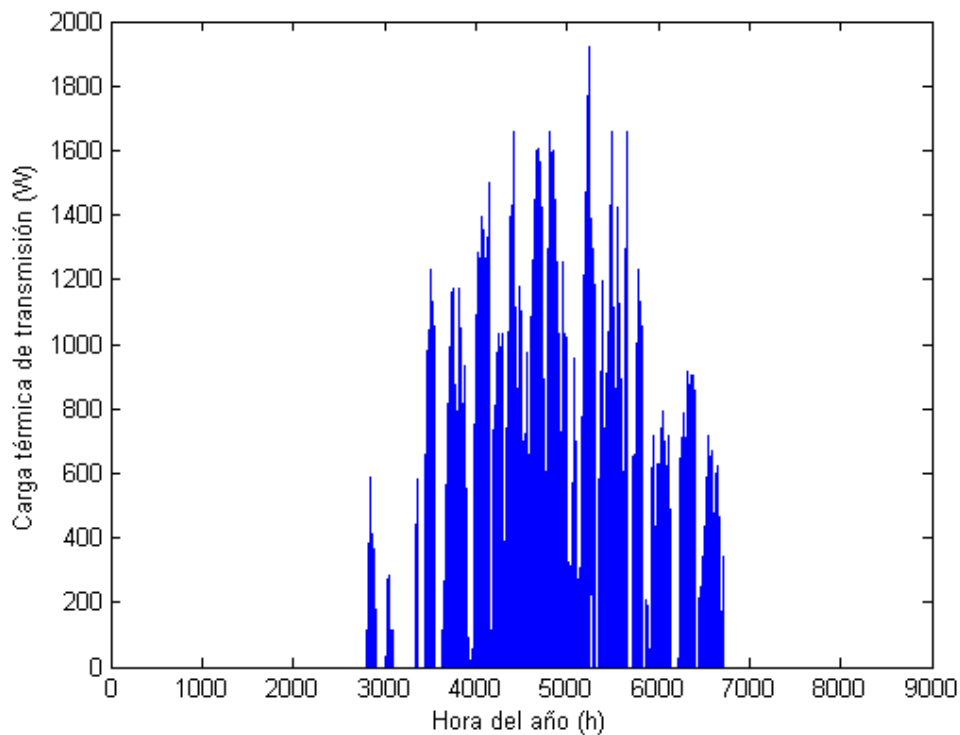




**Gráfico 14. Carga térmica en ventanas en el período de refrigeración.**

En el período de refrigeración no se tiene en cuenta la carga térmica por transmisión del suelo, ya que la temperatura a la que se encuentra es siempre inferior a la que se encuentra el interior de la vivienda, es decir no se trata de una carga térmica sino que es beneficioso para la vivienda.

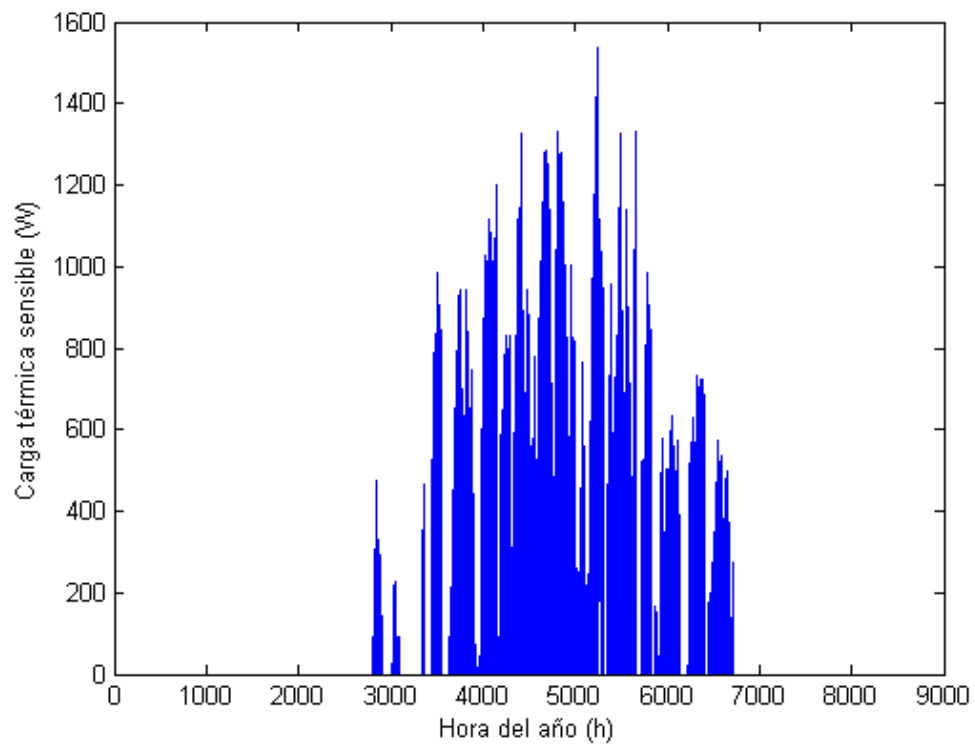
De la misma forma que en el período de calefacción se suman todas las cargas que componen la carga térmica por transmisión, el gráfico (15) ilustra la carga térmica por transmisión en el período de refrigeración.



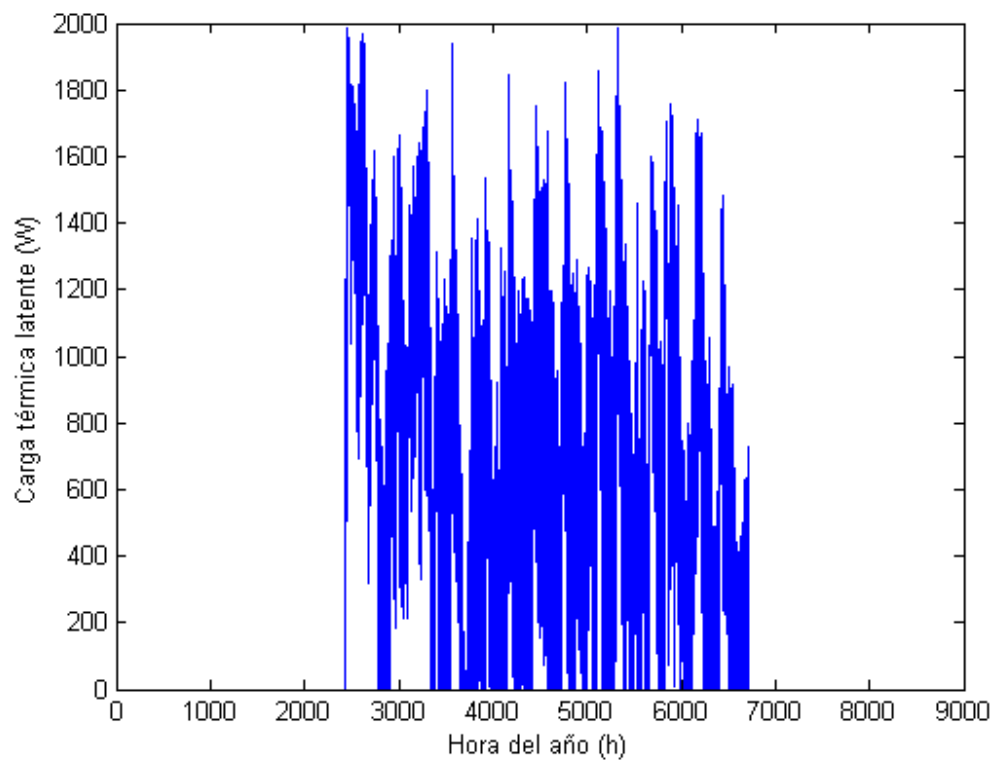
**Gráfico 15. Carga térmica de transmisión en el período de refrigeración.**

### ***3.2.2. Carga térmica de ventilación e infiltraciones.***

Utilizando las ecuaciones (22) y (23) y la figura (19) se calcula la carga térmica por ventilación e infiltraciones. Los datos que se utilizan son los mismos que antes, variando sólo los valores de temperatura y humedad relativa exterior. La carga térmica sensible y latente por ventilación e infiltraciones se muestran en los gráficos (16) y (17).



**Gráfico 16. Carga térmica sensible en el período de refrigeración.**



**Gráfico 17. Carga térmica latente en el período de refrigeración.**

### 3.2.3. Carga térmica interna.

En el período de refrigeración de la vivienda se ha de tener en cuenta la carga interna debida al calor latente y sensible que producen las personas, el alumbrado y electrodomésticos en el interior de la vivienda.

En el período de calefacción este tipo de carga no se tiene en cuenta, ya que supone una ganancia térmica para la vivienda, por lo que este tipo de carga lo que hace es aumentar la temperatura interior del habitáculo, siendo éste concretamente el objetivo para el período de calefacción.

Uno de los elementos que mayor cantidad de calor aporta a la vivienda son las personas, ya que la temperatura a la que se encuentran es próxima a 37º siendo el rango de oscilación muy pequeño. A través de la epidermis el calor se disipa hacia el exterior a través de radiación por las superficies que lo rodean, por convección hacia el aire ambiente, también tiene lugar el fenómeno de conducción a través de las superficies en contacto, aunque este no se tiene en cuenta.

Para esta vivienda se considera que el número de personas que conviven en ella es de cuatro. Como los habitantes de la vivienda no van a estar en ella las 24 horas del día, se define un factor de simultaneidad. Se estima que este factor de simultaneidad es del 75%. Los valores que se emplean para la ganancia debida a los ocupantes son 60 W de calor sensible y 70 W de calor latente. [7]

Las ecuaciones (34) y (35) se emplean para el cálculo de esta carga térmica. Su valor es constante a lo largo de todo el período de estudio.

$$Q_{ocupaciónsen} = Q_{personas} N_{personas} F_{simultaneidad} \quad (Ec. 34)$$

$$Q_{ocupaciónlat} = Q_{personas} N_{personas} F_{simultaneidad} \quad (Ec. 35)$$

No se debe olvidar el alumbrado a la hora de calcular la carga interna. Este constituye una fuente de calor sensible. Este calor se emite por conducción, convección y radiación. Para las zonas comunes se impone una iluminación de 10 W/m<sup>2</sup> y para el resto de zonas de 20 W/m<sup>2</sup>. El factor de uso de iluminación se estima en 50%. La ecuación (37) expresa la ganancia térmica por iluminación.

$$Q_{iluminación} = F_{ilum} m_{zonascom} A_{zonascom} + F_{ilum} m_{resto} A_{resto} \quad (Ec. 36)$$

Por última queda estudiar la carga térmica debido a los aparatos que se utilizan en la vivienda. La mayor parte de los electrodomésticos o aparatos que tiene una vivienda son una fuente de calor sensible y latente. Con la ecuación (37) se calcula la ganancia térmica de los aparatos de la vivienda, conocido de antemano la potencia y el factor de uso de ellos.

$$Q_{\text{aparato}} = F_{\text{uso}} Q_{\text{aparato}} \quad (\text{Ec. 37})$$

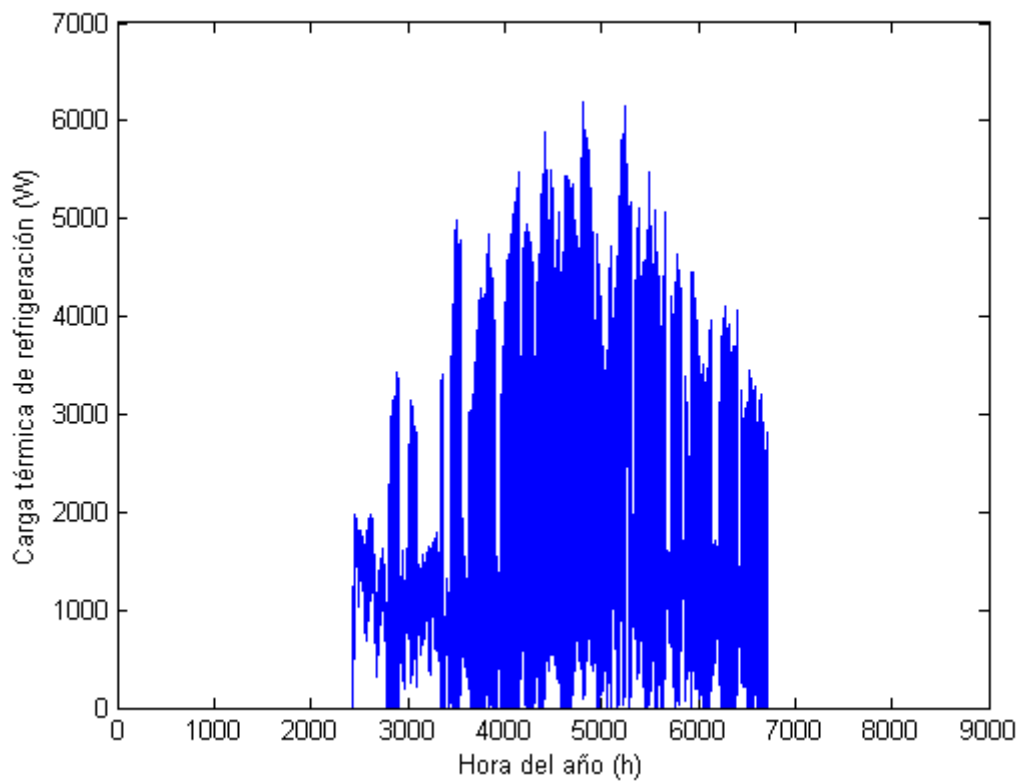
La tabla (7) recoge la potencia de cada aparato que se emplea en la vivienda y el número de horas que se utiliza.

| Aparato           | Potencia (W) | Horas/Día funcionamiento |
|-------------------|--------------|--------------------------|
| Nevera            | 300          | 24                       |
| Vitrocerámica     | 1000         | 5                        |
| Horno             | 1495         | 3                        |
| Televisor grande  | 220          | 10                       |
| Televisor mediano | 150          | 12                       |
| Ordenador 1       | 150          | 6                        |
| Ordenador 2       | 150          | 6                        |

**Tabla 7. Potencia de los aparatos y factor de uso.**

La suma de las tres cargas térmicas estudiadas forma la carga térmica interna. Como cada una de las cargas es constante, el gráfico de cargas internas es un gráfico de valor constante, igual a 2,072 KW.

Una vez obtenidas todos los datos para el período en el que se centra el estudio en este punto, se pueden sumar todas las cargas térmicas y así obtener la carga térmica total en el período de refrigeración. En el gráfico (18) se muestra la evolución de la carga térmica en el período estival.



**Gráfico 18. Carga térmica total en el período de refrigeración.**

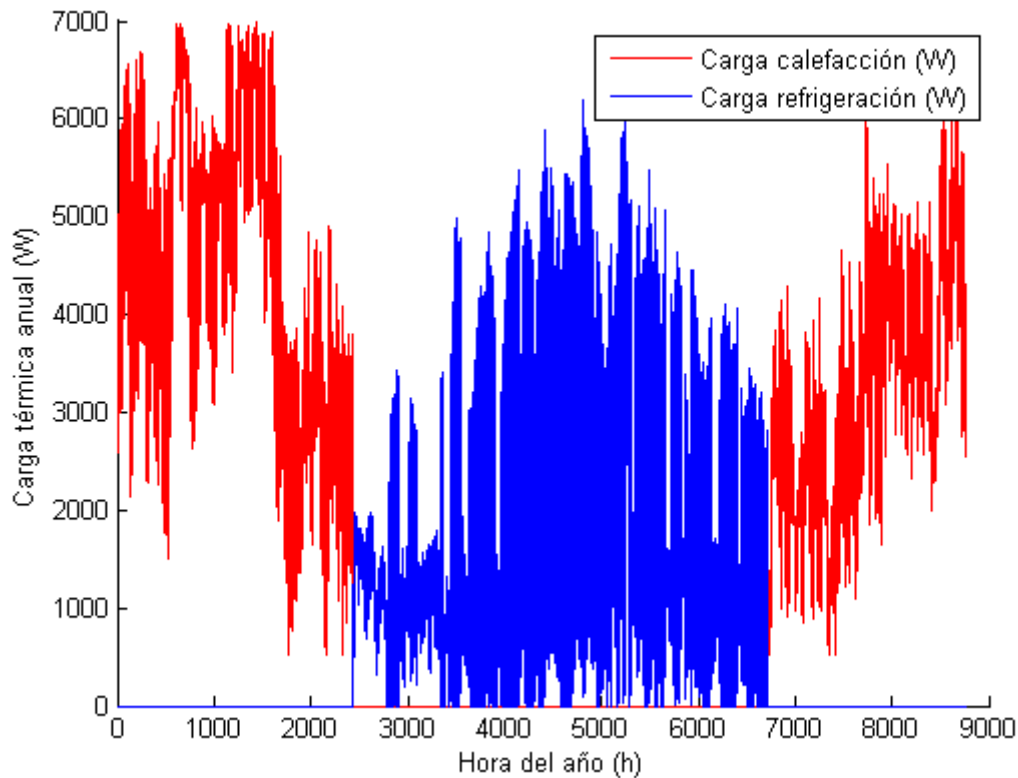
Para este período el máxima de potencia que va a demandar a la vivienda es de 6,2 KW, valor menor que para el período de calefacción.

#### ***3.2.4. Carga térmica de radiación.***

Este tipo de carga térmica se le dedica un capítulo para ella sola, ya que en vez de tener que calcularla y sumarla al resto de cargas, se va a diseñar un elemento arquitectónico, para así poder obviarla. En el Capítulo 4, se cuenta todo lo referente a la carga térmica de radiación.

### 3.3. Carga térmica total anual.

Una vez que se tienen todos los cálculos, tanto para el período de calefacción como el de refrigeración, se pueden juntar, para hallar la carga térmica anual para esta vivienda en concreto. El gráfico (19) muestra la evolución que tendrá las pérdidas del habitáculo.

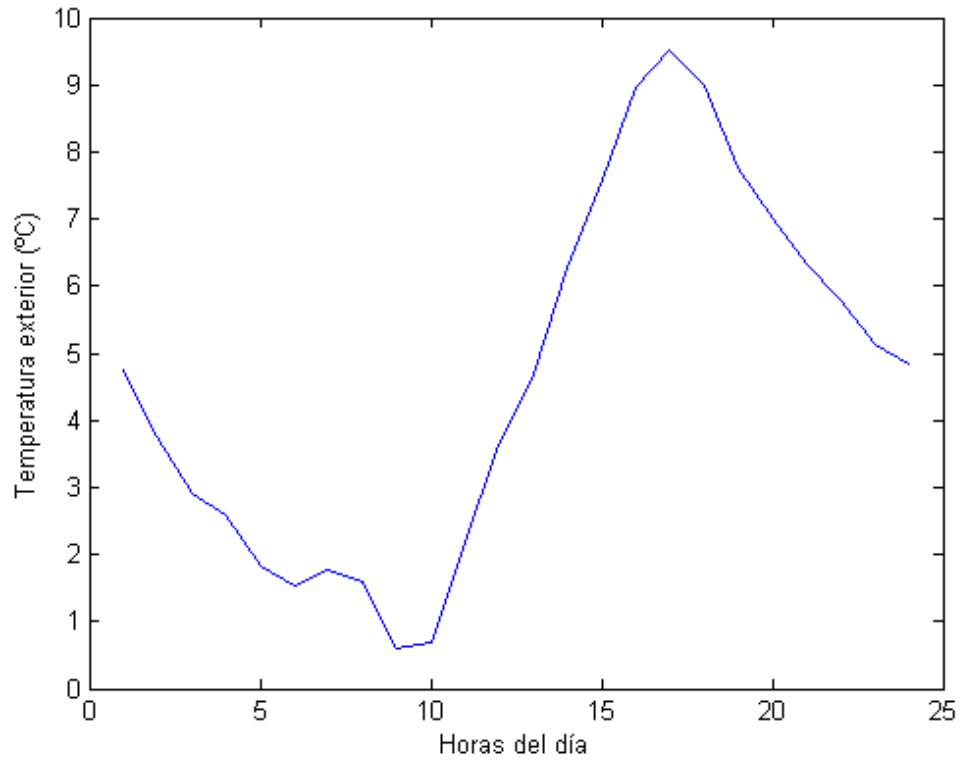


**Gráfico 19. Carga térmica total a lo largo de todo el año.**

Del gráfico anterior se deduce que la carga térmica en el período de calefacción es ligeramente superior que la carga térmica en el período de refrigeración, la causa de ello, es que la diferencia de temperatura en el período invernal es mayor que en el estival.

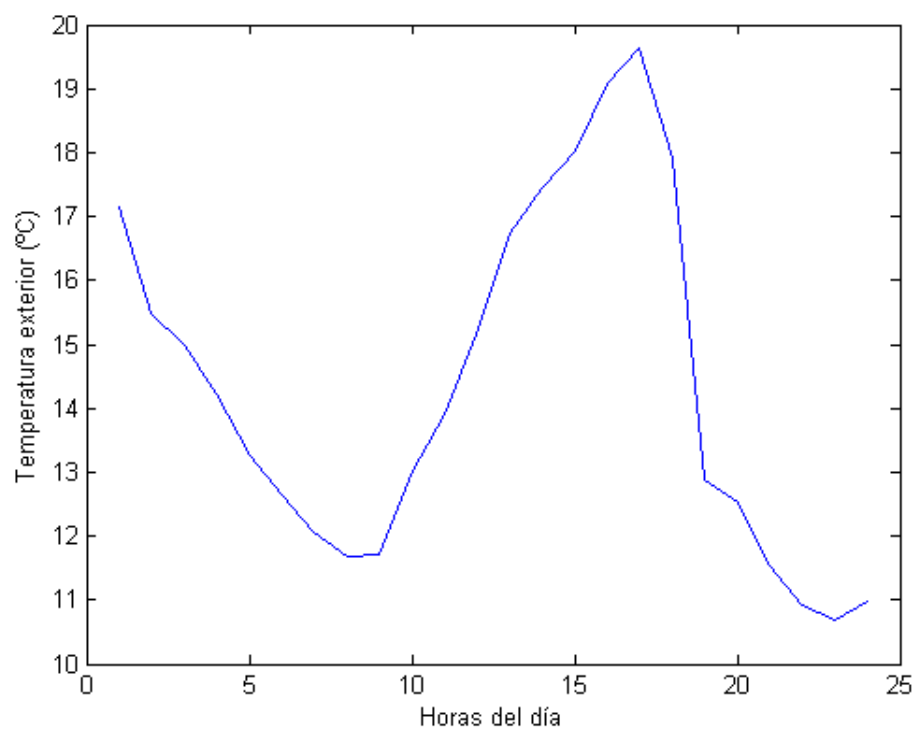
### 3.4. Carga térmicas días tipo.

Se eligen 4 días a lo largo del año, cada uno perteneciente a cada una de las estaciones que hay. Los gráficos (20), (21), (22) y (23) muestran la evolución de la temperatura a lo largo de cada día tipo.

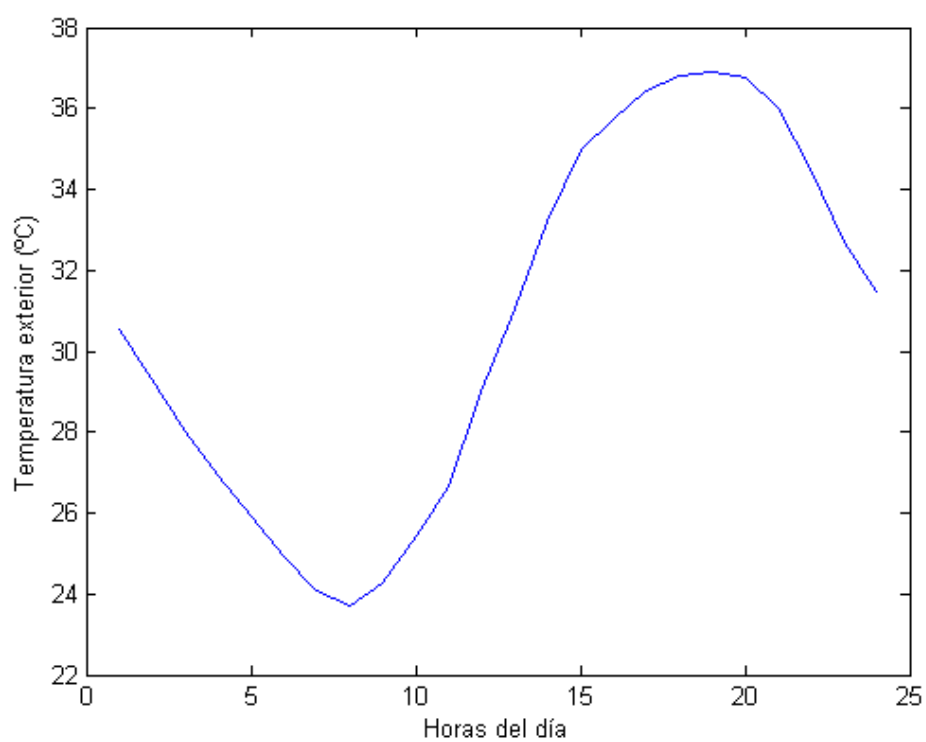


**Gráfico 20. Temperatura exterior 10 de Enero.**

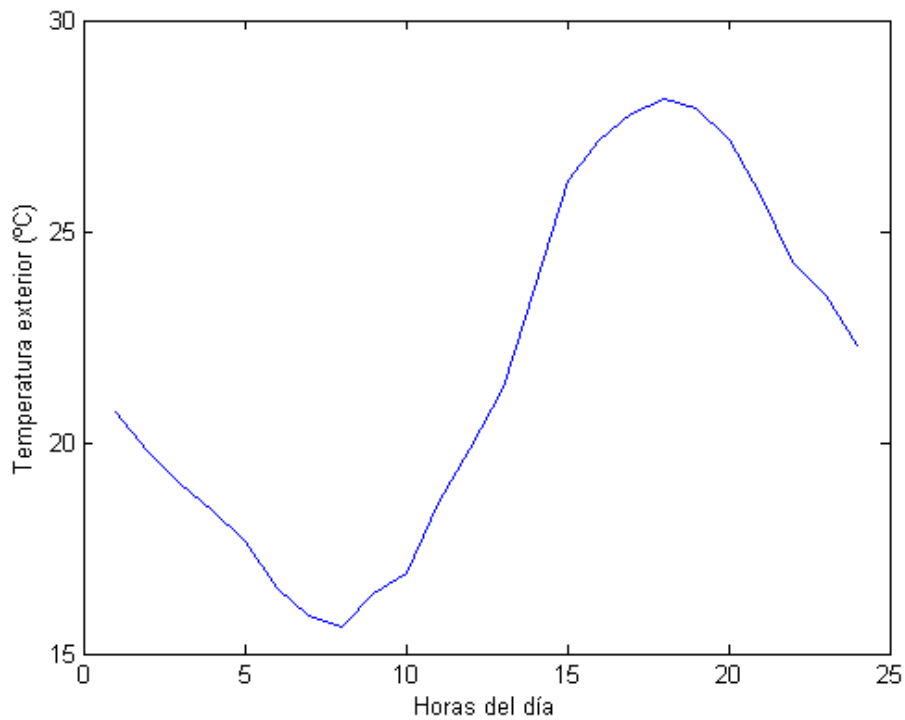




**Gráfico 21. Temperatura exterior 10 de Abril.**



**Gráfico 22. Temperatura exterior 3 de Julio.**



**Gráfico 23. Temperatura exterior 28 de Septiembre.**

Los cuatro gráficos que se ilustran son muy parecidos, se puede observar como a medida de que aparece el sol la temperatura va aumentando hasta que se esconde éste. Una vez vista la evolución de la temperatura respecto a las horas del día, se va a ilustrar la carga térmica de transmisión en los cuatro días elegidos. Únicamente se representa este tipo de carga térmica ya que se considera que es de las más importantes además de ser de las más elevadas, aunque se pueden representar todas ellas.

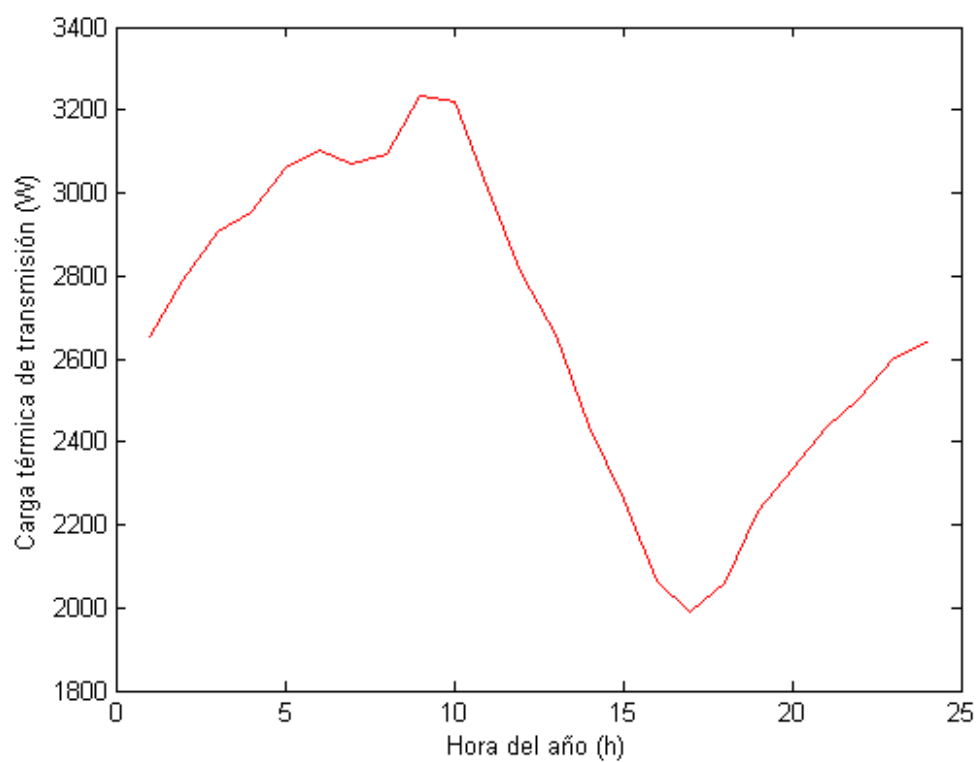


Gráfico 24. Carga térmica de transmisión 10 de Enero.

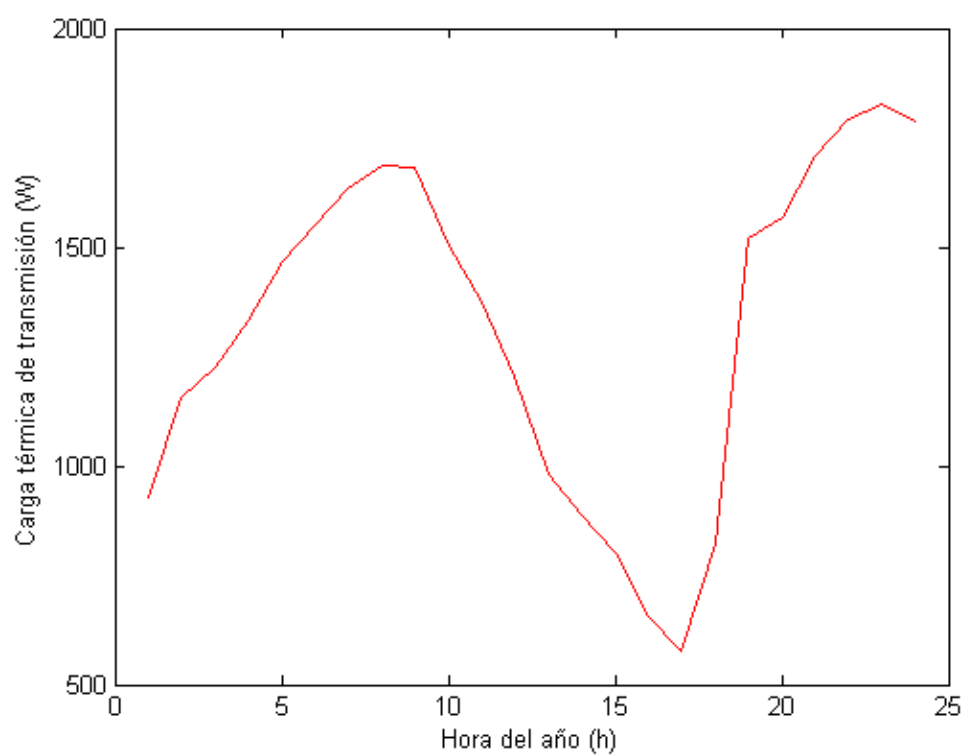


Gráfico 25. Carga térmica de transmisión 10 de Abril.

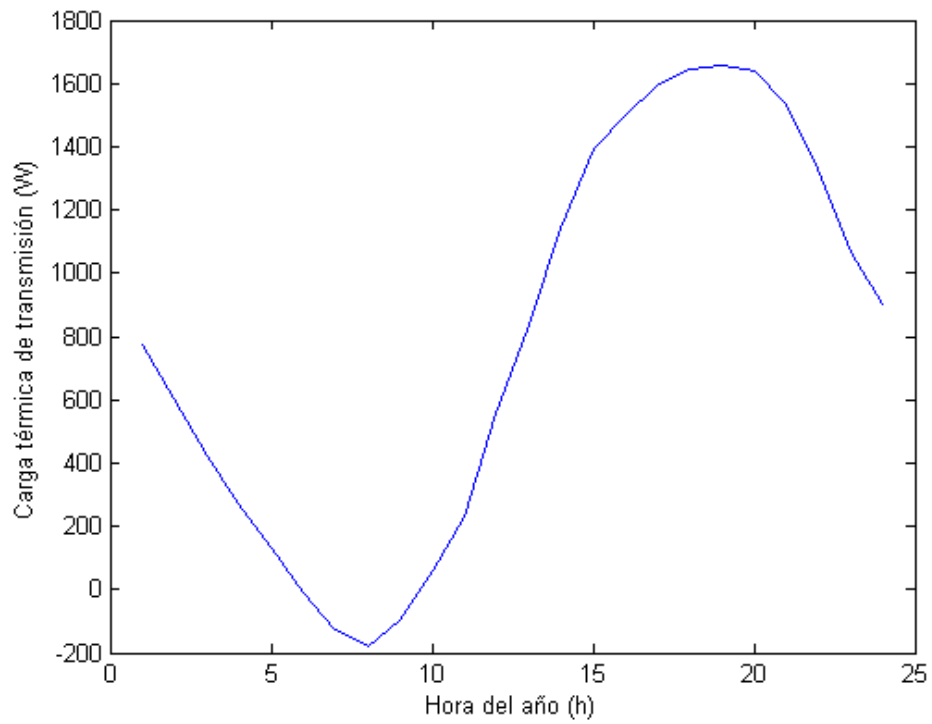


Gráfico 26. Carga térmica de transmisión 3 de Julio.

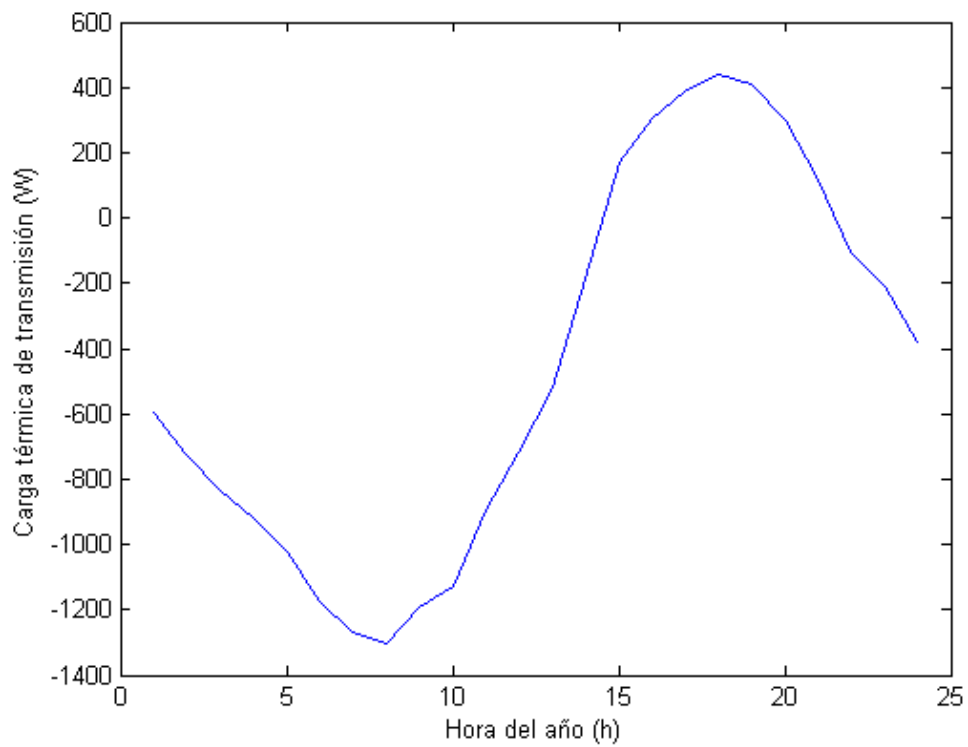


Gráfico 27. Carga térmica de transmisión 28 de Septiembre.

Como se puede apreciar en estos cuatro gráficos, dos de ellos corresponden al período de calefacción y las otras dos al período de refrigeración. De los del período de calefacción uno de los días, el 10 de Enero, tiene una demanda de potencia mayor que el otro día, siendo este último el día 10 de Abril, tratándose ya de los últimos días del período de calefacción. Esto mismo ocurre con los dos días del período de refrigeración. En el período de refrigeración se observa que los gráficos de carga térmica son simétricos respecto del eje x con los gráficos de temperatura de este mismo período, esto se explica de manera sencilla. En el período de calefacción, una temperatura baja tiene como consecuencia una mayor carga térmica, por esto la forma que presentan los gráficos. Sin embargo en el período de refrigeración, ambos gráficos, los de temperatura y los de carga térmica, son muy similares, ya que a medida de que la temperatura disminuye, también lo hace la demanda de potencia. Otro detalle, es la forma senoidal que presentan los gráficos que se refieren a los días más centrales de ambos períodos, se debe a que la temperatura no varía de forma tan brusca como lo hace para los días que se refieren al final de los períodos. Si se compara los gráficos pertenecientes al período de refrigeración respecto a los referentes al período de calefacción, se ve que en el período invernal la demanda de potencia es más del doble que para el período estival, esto se explica porque la diferencia entre temperatura interior y exterior de la vivienda es prácticamente el doble en el período de calefacción, por ello este aumento de potencia demandada. Por otro lado, en ambos períodos se puede comparar la potencia demanda entre el día perteneciente al central del período, los días 10 de Enero y 3 de julio, y el día más alejado del período, como es el caso del 10 de Abril y 28 de Septiembre, que la demanda de potencia es mucho mayor para el día central, siendo el doble en el periodo de calefacción y cuatro veces mayor en el de refrigeración, a pesar de que la temperatura de un día con respecto al otro varía aproximadamente lo mismo, unos 10°C, aquí interfiere lo que se acaba de explicar líneas arriba, que la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la vivienda es el doble en el invierno que en el verano.

# ***CAPÍTULO 4: ESTUDIO CARGA TÉRMICA DE RADIACIÓN Y DISEÑO DE ELEMENTO ARQUITECTÓNICO.***

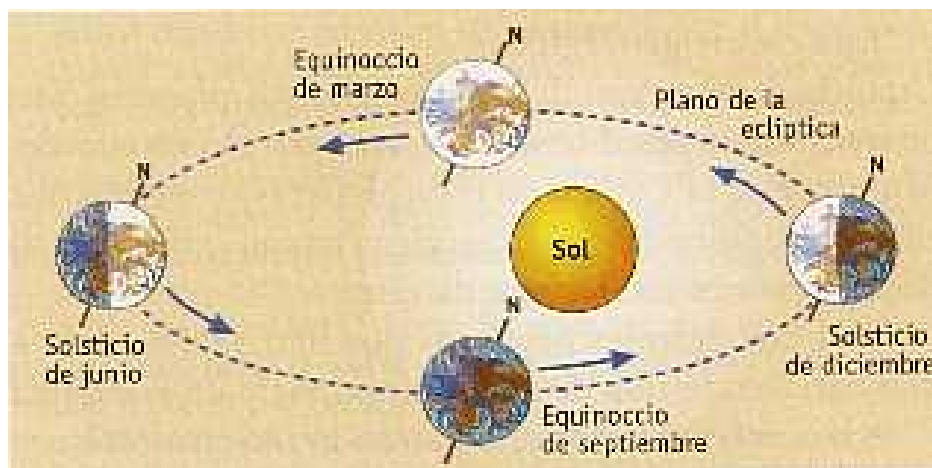
*En el capítulo 4, se explica la carga térmica de radiación, y se propone el diseñar un sistema de lamas metálicas con el fin de evitar las pérdidas por radiación y poder ahorrar energía y costes.*

#### 4.1. Carga térmica de radiación.

A la hora de estudiar este tipo de carga térmica se decide que en vez de calcularla como tal y sumarla a la carga térmica del período de refrigeración, se propone un diseño arquitectónico que se coloca encima de las ventanas que se encuentren orientadas al Sur, para así no tener en cuenta este tipo de carga y de una forma ahorrar en electricidad.

La carga térmica de radiación como la propia palabra explica es debida a la radiación del Sol. El Sol no se mantiene en una posición fija, sino que cuenta con un movimiento de rotación y otro de traslación.

Cuando se realiza un estudio como este, se requiere conocer la posición relativa Sol-Tierra, para así poder calcular la radiación que alcanza la superficie del planeta Tierra. La Tierra describe un movimiento elíptico alrededor del Sol.



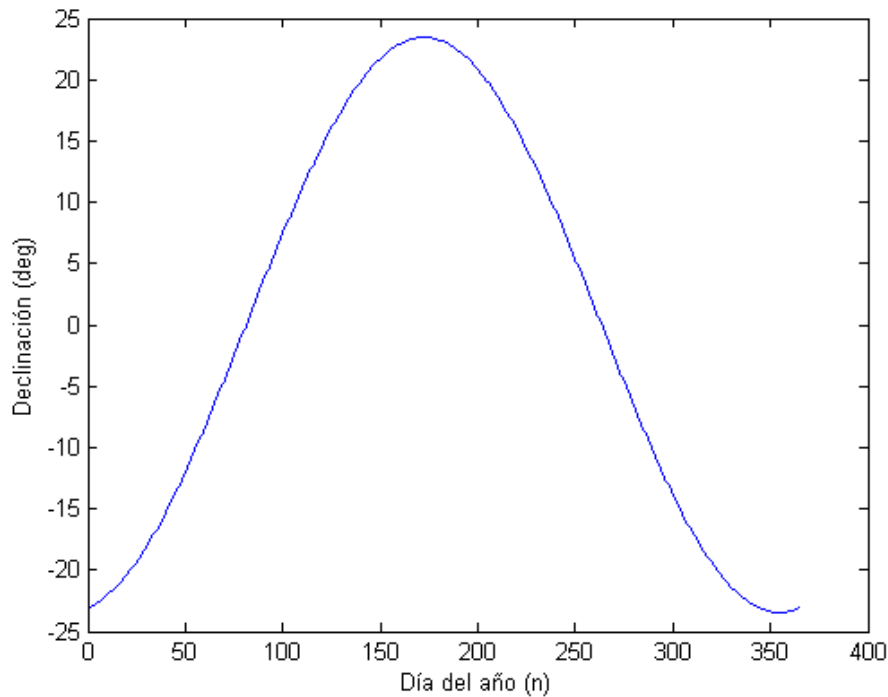
**Figura 20. Movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol. [8]**

En el hemisferio Norte para los días de invierno el Sol se encuentra más cercano a la Tierra que para los días de verano. Esto puede sonar extraño, ya que se asocia cercanía del Sol con temperaturas altas. Esto no es así, ya que se tiene que tener en cuenta la declinación que se explica a continuación.

Además de los dos movimientos que se mencionan líneas arriba, la Tierra gira sobre sí misma alrededor de un eje que cruza los polos. La inclinación de ese eje con respecto a la normal del plano de la eclíptica permanece constante e igual a  $23,45^\circ$ , de modo que el ángulo formado por la línea que une los centros del Sol y la Tierra y el plano ecuatorial varíe continuamente. Este ángulo se conoce como declinación solar ( $\delta$ ). [8]

La declinación ( $\delta$ ) se calcula de la siguiente forma:

$$\delta = 23.45 \operatorname{sen}\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad (\text{Ec. 38})$$



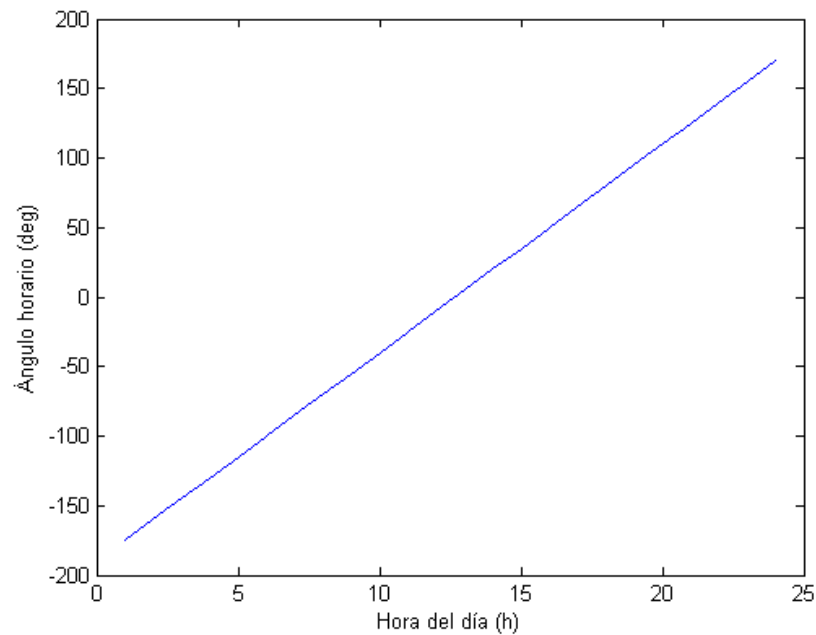
**Gráfico 28. Declinación para cada día del año.**

Del gráfico (28) se puede observar que para los días centrales del año los rayos solares inciden más perpendicularmente sobre el hemisferio Norte, será verano en este hemisferio e invierno para el hemisferio Sur.

Otro parámetro importante que no se debe olvidar, es del ángulo horario ( $w$ ). Para las 12:00 h el valor de este ángulo es de  $0^\circ$  y según pasan las horas aumenta  $15^\circ$  por cada hora que transcurre. Varía desde las 12:00 h hasta las 24:00h de  $0^\circ$  a  $175^\circ$  positivos, y llegado a este hora desde los  $-175^\circ$  a los  $0^\circ$  a las 12:00 h.



El gráfico (25) ilustra la variación del ángulo horario ( $w$ ).



**Gráfico 29. Ángulo horario para cada hora del día.**

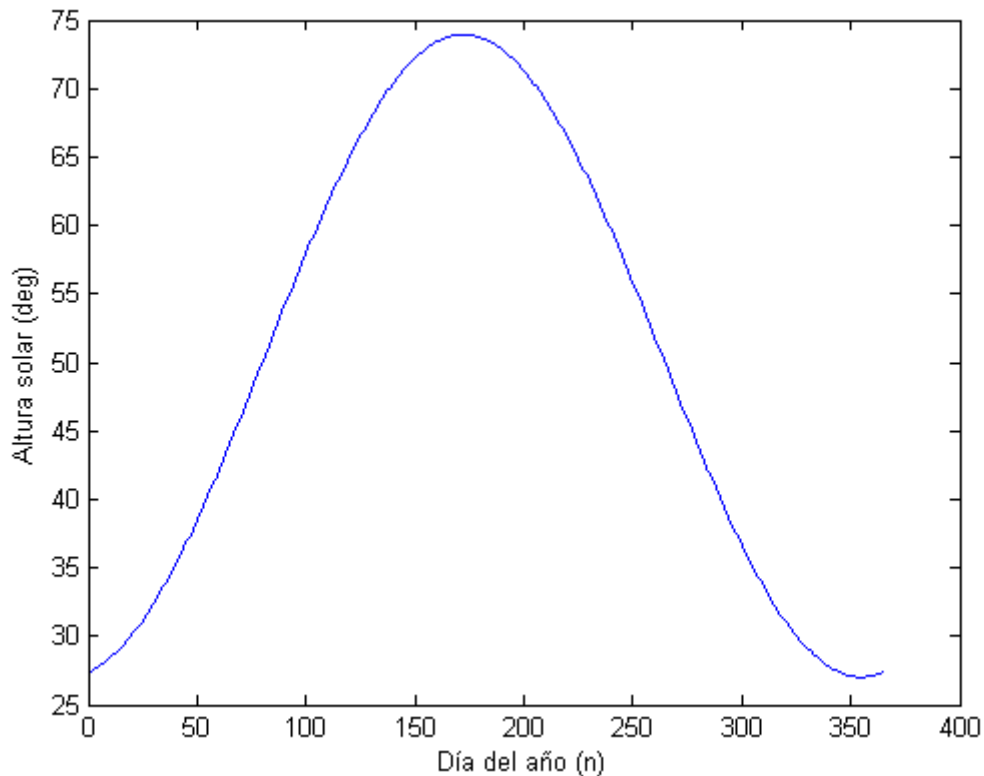
Por último y lo que realmente interesa para este estudio es la altura solar ( $\alpha$ ). Se define como el ángulo que forman los rayos solares sobre la superficie horizontal. La ecuación (39) modela la forma de calcular la altura solar.

$$\alpha = \arcsen(\sen(\phi)\sen(\delta) + \cos(\phi)\cos(\delta)\cos(w)) \quad (Ec. 39)$$

La latitud ( $\phi$ ) para el lugar en el que se encuentra la vivienda, Puerto de San Vicente es de  $39,52^\circ$ .

Si se analiza la ecuación en vista de los parámetros que la forman, se deduce que el valor de la altura solar depende del día del año en el que nos encontremos. Este valor será menor para los días centrales del año, cuando el Sol se encuentra en una posición más perpendicular a la Tierra.

El gráfico (30) recoge la altura solar ( $\alpha$ ) para cada día del año a las 12 horas solares.

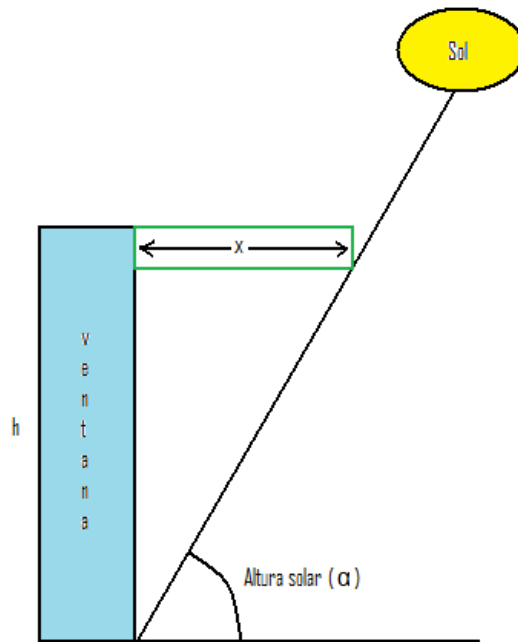


**Gráfico 30. Altura solar ( $\alpha$ ) para cada día del año.**

## 4.2. Diseño de elemento arquitectónico.

En concreto se va analizar la altura solar ( $\alpha$ ) para el día 12 de Abril ya que éste es el día para el que se decide que comienza el período de refrigeración. Según vayan avanzando los días la altura solar será menor. Con el objetivo de cerciorarse de que nunca incida el Sol en la ventana se calcula el caso más desfavorable, es decir para el día 12 de Abril. La altura solar para el día elegido es de  $58,778^\circ$ .

Una vez conocida la altura solar ( $\alpha$ ), y la altura ( $h$ ) de la ventana, siendo  $h = 1,4$  (m) se puede calcular la longitud que ha de tener el sistema que se colocará encima de la ventana. La figura (21) describe de una forma más clara lo que se explica en este párrafo.



**Figura 21. Sistema de lamas instalado en la parte superior de la ventana.**

Como todos los parámetros de la figura (21) se conocen a excepción de la longitud del sistema de lamas que se instalará, despejando  $x$  se puede concluir que las lamas que se instalan encima de la ventana tienen una longitud de 0,83 (m).

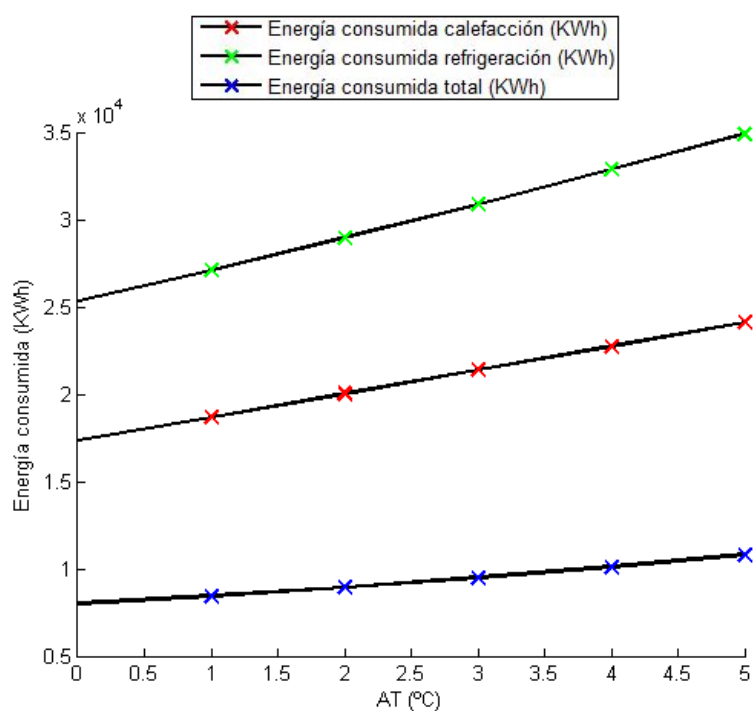
El mecanismo que se instala encima de la ventana consta de 4 lamas metálica de 21 (cm) de ancho, de espesor 0,5 (cm) y de longitud igual al ancho de la ventana. Este mecanismo consta de un motor eléctrico conectado a la red eléctrica de la vivienda y controlado desde el interior de ésta. Las lamas se diseñan de forma que puedan girar  $90^\circ$  dejando así entrar la cantidad de Sol deseada para el período de invierno. Las lamas se conectan con el sistema de refrigeración que utiliza la vivienda, de forma que cuando se ponga el funcionando dicho sistema para refrigerar la vivienda, automáticamente sitúe las lamas en su posición original a  $0^\circ$ , con todo ello se busca que la vivienda en su conjunto sea lo más eficiente posible.

# ***CAPÍTULO 5: ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS INTERIORES DE LA VIVIENDA.***

*El fin del capítulo siguiente es el de realizar un estudio de cómo variando el espesor del aislante de la vivienda o la temperatura interior del habitáculo, la energía que se consume aumenta y con ello aumenta el coste de climatización y por último el impacto medioambiental que todo esto conlleva.*

El objetivo de este estudio es analizar como varía el consumo anual de la vivienda en (KWh) al variar la temperatura interior a la que se encuentra.

Ahora bien, lo que se plantea es ir aumentando 1°C la temperatura para el período de calefacción y disminuir esta misma cantidad para el período de refrigeración. En resumidas cuentas lo que se quiere es estar más caliente en invierno y más fresco en verano, obviamente ello va a suponer un aumento de la demanda de energía eléctrica y de combustible y por lo tanto un aumento económico en la factura del gas y en la factura eléctrica. Por otro lado y no menos importante es la repercusión que va a tener este incremento de consumo en emisiones de  $CO_2$ . Para poder evaluar este estudio se ha de ir a las ecuaciones pertinentes y la temperatura interior en el período de calefacción sumarla un  $\Delta T$  y la temperatura interior del período de refrigeración restarla ese mismo incremento de temperatura. El gráfico (31) ilustra como varía el consumo según se varía la temperatura interior.



**Gráfico 31. Energía consumida en función de la temperatura interior de la vivienda.**

Del gráfico (31) se deduce lo explicado anteriormente, como al variar la temperatura a la que se encuentra el habitáculo va aumentando el consumo. El estudio se ha realizado para los dos períodos en los que se divide el año y luego una tercera gráfica que muestra el consumo anual.

El estudio se realiza variando la temperatura interior, sumando o restando a esta desde 1°C a 5°C inclusive, aunque cumpliendo la normativa sólo se podría tener en cuenta un incremento de 4°C en invierno y un decremento de 2°C para verano. Aun así desde el punto de vista didáctico es más útil analizar un rango amplio de temperaturas para que se pueda apreciar bien los cambios de consumo que se producen.

Una vez que se conoce el consumo de energía se puede calcular el coste económico en función de los incrementos de temperatura. Se consulta una factura eléctrica y una factura del gas y si se conocen los rendimientos de las máquinas empleadas para ambos períodos, como es el caso, se obtiene el precio de la energía consumida.

### 5.1. Consumo y precio de energía período de calefacción.

Para la calefacción de la vivienda la caldera utilizada se detalla en el Anexo II. En vez de analizar el gasto económico mediante gráficas, se va hacer de forma analítica. La ecuación (40) nos permite conocer el consumo de combustible en el período de calefacción.

$$R = \frac{E_{cons}}{m_c PCI} \quad (Ec. 40)$$

Siendo  $R = 0,929$  y  $PCI = 50 \text{ MJ/kg}$

La tabla (8) muestra los valores de gasto de combustible, energía consumida y precio de combustible consumido.

| $\Delta T(^{\circ}C)$ | $E_{cons}(MWh)$ | $m_c(kg)$ | Precio (€) |
|-----------------------|-----------------|-----------|------------|
| 0                     | 17,321          | 1342,4    | 1388,6     |
| 1                     | 18,671          | 1447,1    | 1496,9     |
| 2                     | 20,027          | 1552,1    | 1605,5     |
| 3                     | 21,385          | 1657,4    | 1714,4     |
| 4                     | 22,744          | 1762,8    | 1823,4     |
| 5                     | 24,105          | 1868,2    | 1932,5     |

**Tabla 8. Valores de energía consumida, masa de combustible y de precio en función de la temperatura interior de la vivienda.**

Si se representa gráficamente esta tabla ocurre lo mismo que con el gráfico (30), según aumenta la temperatura interior de la vivienda en el período de invierno, aumenta también la energía consumida.

A parte de conocer el coste económico en euros, se calcula el coste porcentual que supone aumentar la temperatura interior de la vivienda.

Para saber porcentualmente el dinero que se gasta con respecto al  $\Delta T$  es tan fácil como aplicar la ecuación (41).

$$\% = \frac{P_o - P_i}{P_o} \times 100 \text{ (Ec. 41)}$$

La tabla (9) recoge cuanto más costaría porcentualmente que se aumentase la temperatura del habitáculo. Se parte de  $\Delta T=0^{\circ}\text{C}$  y se va aumentando hasta  $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ .

| $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ | %(€)  |
|------------------------------|-------|
| 0                            | -     |
| 1                            | 7,8   |
| 2                            | 15,62 |
| 3                            | 20,21 |
| 4                            | 31,31 |
| 5                            | 39,17 |

**Tabla 9. Valor porcentual del dinero en función de la temperatura interior de la vivienda.**

De la tabla (9) se pueden sacar varias conclusiones. Si todas las personas fuesen conscientes se darían cuenta de lo que significa aumentar un simple grado la temperatura a la que se encuentra su propia casa, esto conlleva un gasto económico importante y con ello un aumento de la emisión de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera que se verá más adelante. La conclusión que se puede sacar de ello, es que económicamente no es viable aumentar la temperatura de la vivienda en más de un grado, si no se quiere que los gastos económicos se disparen.

## 5.2. Consumo y precio de energía período de refrigeración.

En invierno para calentar la casa se utiliza una caldera de gas natural, cuyo combustible es el propio gas natural y para verano se utiliza una máquina de compresión mecánica que necesita energía eléctrica para funcionar. Las características de la máquina que se utiliza para el refrigerar la vivienda se encuentran en el Anexo III.

Para conocer el consumo de energía eléctrica para que la máquina produzca la potencia que requiere la vivienda se debe conocer el COP de la máquina. La ecuación (42) modela la energía eléctrica consumida para producir la energía requerida.

$$COP = \frac{E_{cons}}{E_{eléc}} \quad (Ec. 42)$$

El COP es el rendimiento de la máquina. Si se compara con una caldera de gas natural se observa que es mucho más eficiente una máquina de refrigeración, que una caldera, esto se traduce en menor coste económico.

Así que una vez que se conocen los valores de la electricidad que consume dicha máquina y el precio de cada KWh, se puede calcular el coste económico que conlleva el refrigerar la vivienda y mantenerla a 25° C.

La tabla (10) recoge el valor económico en euros y porcentual de refrigerar la vivienda según se disminuye la temperatura interior.

| $\Delta T(^{\circ}C)$ | Precio(€) | % Precio |
|-----------------------|-----------|----------|
| 0                     | 440,63    | -        |
| 1                     | 464,6     | 5,44     |
| 2                     | 491,5     | 11,64    |
| 3                     | 522,71    | 18,63    |
| 4                     | 557,06    | 26,42    |
| 5                     | 595,30    | 35,1     |

**Tabla 10. Valores en euros y porcentuales del precio de la energía consumida en el período de refrigeración.**

En resumidas cuentas ocurre lo mismo para el período estival (refrigeración) que para el invernal (calefacción). La diferencia es que en uno se aumenta la temperatura y en otro se disminuye, pero el objetivo que se busca es el mismo, el máximo confort dentro de la casa y esto hay que pagarlo.



### 5.3. Consumo y precio de la energía anual.

Después de las tablas que se presentan sobre este estudio de sensibilidad debido a la temperatura interior de la vivienda, se puede calcular el gasto económico total de esta vivienda en concreto para un año entero.

El gasto económico de la potencia consumida por la vivienda para un año completo se registra en la tabla (11). Además se facilita el precio según las variaciones de temperatura interior para que así se sea consciente de los gastos económicos en función de la temperatura a la que se quiera mantener el habitáculo.

| $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ | $E_{\text{cons}}(\text{KWh})$ | Precio total (€) |
|------------------------------|-------------------------------|------------------|
| 0                            | $25,32 \times 10^3$           | 1829,23          |
| 1                            | $27,1 \times 10^3$            | 1961,49          |
| 2                            | $28,95 \times 10^3$           | 2097,45          |
| 3                            | $30,87 \times 10^3$           | 2237,11          |
| 4                            | $32,85 \times 10^3$           | 2380,46          |
| 5                            | $34,91 \times 10^3$           | 2527,8           |

**Tabla 11. Valores de energía consumida y precio total anual.**

### 5.4. Estudio medioambiental.

Después de analizar el gasto económico en función de la temperatura, se lleva a cabo un estudio de las emisiones en kilogramos de dióxido de carbono que se emiten a la atmósfera en función de la temperatura de la vivienda.

Se debe ser consciente de los efectos que tiene este gas para el calentamiento global y en definitiva para la salud de las personas. En los últimos 150 años ha aumentado la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera de 280 ppm a 360 ppm. Este incremento es provocado por la combustión de combustibles fósiles por parte de los humanos, produciendo cemento, quemando bosques y demás actividades.

El mayor problema medioambiental que produce este gas es el conocido "efecto invernadero".

La parte más baja de la atmósfera, es conocida como la troposfera y tiene alrededor de 10-15 kilómetros de ancho. Dentro de ella existen gases llamados gases

invernadero. Estos gases lo que hacen es absorber parte del calor y retenerlo cerca de la superficie de la Tierra, de manera que ésta se calienta. Este fenómeno es lo que se conoce como efecto invernadero. Gracias a este efecto invernadero se puede vivir en este planeta, ya que se encarga de regular la temperatura de la Tierra. Si en algún momento dejase de existir el efecto invernadero, la Tierra se cubriría de hielo. La temperatura de la Tierra queda determinada por la cantidad de calor retenida en la troposfera. A su vez la cantidad de calor en la troposfera depende de la concentración de los gases de efecto invernadero y del plazo de tiempo que estos se encuentren en ella. Debido a las actividades de los humanos ha aumentado las emisiones de gases invernadero, tales como CFCs y  $CO_2$ . Este aumento de emisiones ha provocado un problema ambiental: la cantidad de gases invernadero ha aumentado tanto, que el clima de la Tierra está cambiando porque la temperatura han aumentado de manera ingente. Esta adición provocada por los humanos al efecto invernando se conoce como calentamiento global. Las consecuencias del calentamiento global son: aumento de tormentas, derretimiento de los polos, y con ello inundaciones en más de un continente habitado y otra serie de problemas ambientales.

Todo lo que se explica en el párrafo de arriba se puede explicar de manera sencilla con una figura que ha sido cogida de internet en la que se resume perfectamente todo lo que se cuenta sobre los gases invernadero y el calentamiento global.



Figura 22. Consecuencias calentamiento global.

A pesar de que los humanos han sido los encargados de este aumento de gases invernaderos, se puede decir que en los últimos años se está intentado reducir las emisiones de  $CO_2$  a la atmósfera por KWh consumido, esto es debido al uso de energías limpias como la energía producida por paneles solares, aerogeneradores o por centrales hidroeléctricas entre otras.

Visitando la página Web de Red Eléctrica Española (REE) se puede consultar la energía que se consume en tiempo real y los Kg de  $CO_2$  que se emiten a la atmósfera.

Para este trabajo en concreto y debido a que el comercializador de la energía eléctrica es Iberdrola, se consulta una de sus facturas para saber los Kg de dicho gas en función del consumo en KWh.

En la tabla (12) se recoge el consumo de energía eléctrica en (KWh) para el período de refrigeración y las emisiones de  $CO_2$  (kg) en función de la temperatura del habitáculo.

| $\Delta T(^{\circ}C)$ | $E_{cons}(KWh)$ | Emisión $CO_2$ (Kg) |
|-----------------------|-----------------|---------------------|
| 0                     | 2919,3          | 846,6               |
| 1                     | 3078,1          | 892,64              |
| 2                     | 3259,3          | 945,2               |
| 3                     | 3463,1          | 1004,29             |
| 4                     | 3640,7          | 1055,8              |
| 5                     | 3944            | 1143,76             |

**Tabla 12. Emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera en el período de refrigeración.**

Las emisiones de dióxido de carbono para el período de calefacción dependen del gasto de combustible y del tipo que sea. Para este caso en concreto se trata de gas natural, por tanto conocido el consumo de combustible se puede determinar las emisiones, éstas se recogen en la tabla (13) en función de la temperatura interior de la vivienda. La equivalencia de  $m^3$  a KWh es:

$$1m^3 = 10,734 \text{ KWh}$$

Sabiendo que  $1KWh=0,209 \text{ kg } CO_2$ , se puede estimar las emisiones de dicho gas.

| $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ | Gasto de combustible( $m^3$ ) | Emisiones $CO_2$ (Kg) |
|------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 0                            | 2237,4                        | 4899,3                |
| 1                            | 2411,8                        | 5281,2                |
| 2                            | 2586,9                        | 5664,6                |
| 3                            | 2762,3                        | 6048,8                |
| 4                            | 2937,9                        | 6433,3                |
| 5                            | 3113,7                        | 6818,1                |

**Tabla 13. Emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera en el período de calefacción.**

En la siguiente tabla se recogen las emisiones de gas invernadero anuales.

| $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ | Emisiones totales $CO_2$ (Kg) |
|------------------------------|-------------------------------|
| 0                            | 5745,9                        |
| 1                            | 6173,9                        |
| 2                            | 6609,8                        |
| 3                            | 7053,1                        |
| 4                            | 7503,6                        |
| 5                            | 7961,8                        |

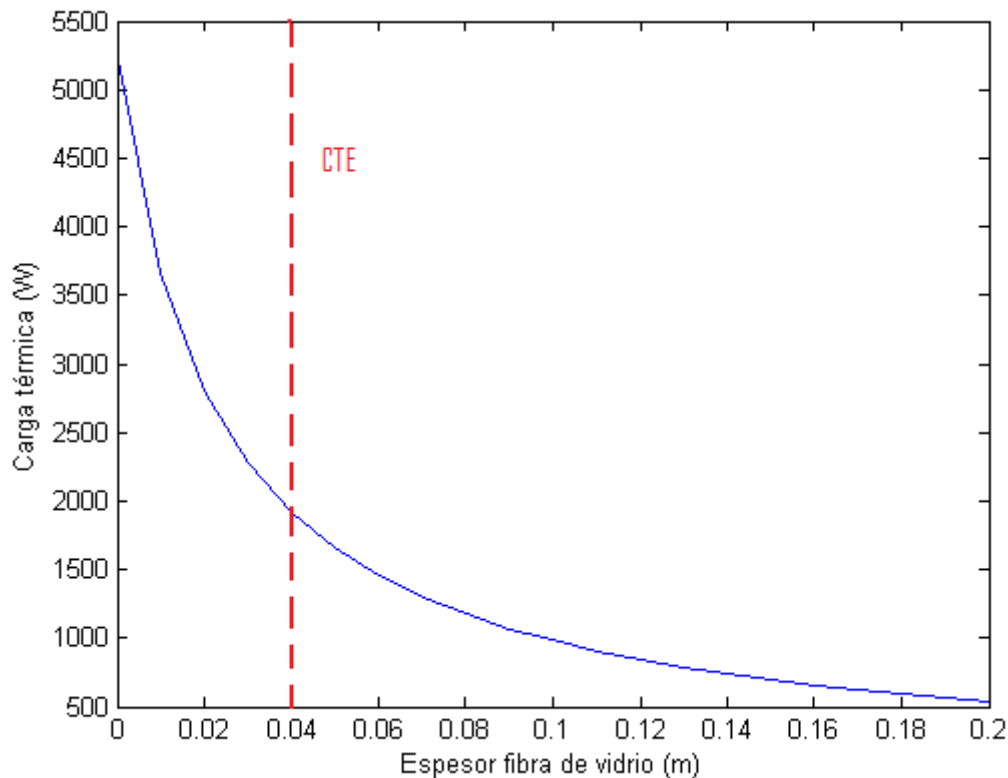
**Tabla 14. Emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera anuales.**

Con las tablas que se exponen hasta el momento se da por finalizado el estudio planteado en este capítulo de cómo afecta la temperatura interior de la vivienda sobre el precio y la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera.

## 5.5. Estudio del espesor del aislamiento de la vivienda.

Otro de los parámetros digno de estudio es el espesor del aislamiento que contiene los muros de la vivienda y el techo de la vivienda. El aislamiento que se utiliza en la construcción de esta vivienda es fibra de vidrio de espesor 4 centímetros y de conductividad térmica  $K= 0,04$  (W/mK). Es obvio que cuanto mayor sea el espesor del aislante menor será el coeficiente global de transferencia de calor de muro y techo y por lo tanto esto significa ahorro de energía eléctrica, que se traduce en ahorro de dinero y en una emisión menor de  $CO_2$ .

En el gráfico (32) se muestra la evolución de la carga térmica (W) respecto al espesor del aislante.



**Gráfico 32. Carga térmica en función del espesor del aislamiento.**

De ese gráfico se puede observar que llega un punto en el que por mucho que se aumente el espesor de la fibra de vidrio no se reduce la carga térmica, este aumento de espesor sólo incurre en aumentar el gasto en la construcción de la vivienda. La línea discontinua roja, marca el mínimo de espesor de fibra de vidrio que debe tener esta vivienda para cumplir con el Código Técnico de la Edificación. Si se pusiese un valor menor, el coeficiente global de transferencia de calor de muro y techo, (únicos elementos afectados por el espesor de aislante), estaría fuera de los límites que marca el CTE.

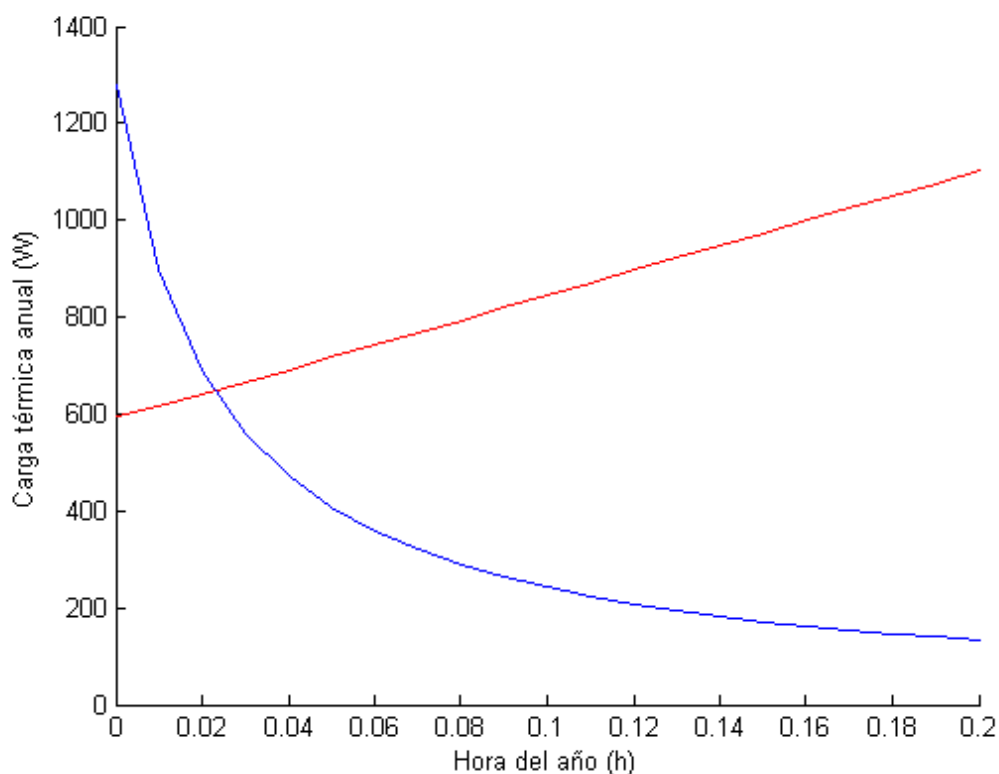
Sin tener en cuenta el precio de la fibra de vidrio, es decir la inversión que habría que hacer para aumentar el espesor de este, se concluye que un espesor mayor de 10 centímetros no tiene sentido, ya que la carga térmica no disminuye demasiado y el precio del aislante se dispara..

Para asegurarse de este cálculo, ya que se realiza de una manera poco exacta, es mejor comparar el precio que supone el espesor del aislante frente al gasto económico debido a la fibra de vidrio ya que al aumentar el espesor, disminuye la energía consumida. Según fabricante el precio de la fibra de vidrio es de 2,688 €/m<sup>2</sup> para 1 cm

de espesor, y el precio aumenta aproximadamente un 4% por cada centímetro más de fibra de vidrio que se añada.

El espesor óptimo de aislante lo dictamina la intersección entre las rectas que se originan al comparar el precio del aislante y el precio de la energía consumida frente al espesor de fibra de vidrio.

Debido a que los únicos elementos de la vivienda que llevan fibra de vidrio son el muro y el techo, sólo se realizará el estudio para estos, ya que el resto de cargas térmicas no varían debido a que no dependen del parámetro espesor.



**Gráfico 33. Optimización espesor aislamiento de la vivienda.**

Del gráfico (33) se descubre que el espesor óptimo de aislante para la vivienda de estudio debe ser de 2,3 (cm). De los gráficos (32) y (33) se puede ver que desde el punto de vista económico es perfecto tener un aislante de este espesor, pero el problema viene a la hora de cumplir con el código técnico de la edificación, ya que con un aislamiento de espesor 2.3 (cm), no se cumple con los límites de los coeficientes globales de transferencia de calor para muro y techo, por tanto a pesar de que tenga un mayor coste, para cumplir la normativa española se ha de poner un espesor mínimo en la vivienda de 4 (cm).

# ***CAPÍTULO 6:***

# ***CONCLUSIONES.***

*En este último capítulo se exponen las conclusiones a las que se ha llegado después de la realización de todo el análisis de la demanda de climatización de la vivienda de estudio.*

No son para nada desdeñables la cantidad de conclusiones que se pueden desprender de este trabajo. Para empezar, que mejor que partir desde el principio, desde la introducción. Después de conocer la situación energética en este país, consumos de electricidad elevada, emisiones de gases contaminantes aumentando, nos vemos en la necesidad de tomar medidas respecto a todo esto. Para ello es necesario la realización de un estudio de climatización de viviendas, en las que aparte de realizar cálculos prácticos como los que se han hecho, se lleven a cabo cálculos económicos como es el caso del espesor del aislamiento de la vivienda o se tenga en cuenta el impacto que tiene en el medioambiente el consumo desmesurado de electricidad.

Desde el punto de vista del lector, quizá no tome la misma relevancia que para el autor de este trabajo. Me refiero en cuanto al Código Técnico de la Edificación y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios. Ambos documentos recogen las pautas a seguir para realizar un estudio como éste. Marcan las limitaciones energéticas que tienen que cumplir las viviendas dependiendo de la zona climática en la que se encuentren así como otra serie de factores totalmente necesarios. Energéticamente hablando, un estudio de cargas térmicas como éste, nos da una idea de cómo de eficiente es la vivienda.

Una vez realizados todos los cálculos, se puede observar como la mayor pérdida de potencia se produce a través del muro de la vivienda. No obstante en proporción al tamaño, al área que ocupan en la casa, las mayores pérdidas se producen a través de las ventanas. Esto hace pensar que una mejora en las características de las ventanas reducirían las pérdidas de potencia que tienen lugar en la vivienda.

Ya se ha explicado en la parte central del trabajo, en el desarrollo, que se divide el año en dos períodos, diferenciando un período de calefacción y un período de refrigeración. De los datos obtenidos se observa que es mayor la carga térmica en el período de calefacción que en el período de refrigeración. Esto es debido a que la diferencia de temperatura en el período de invierno es mayor que para el período de verano.

Para el verano, aparte de tener en cuenta las cargas térmicas de transmisión, ventilación e infiltraciones, se han de sumar un par de cargas más. Se trata de la carga térmica interna de la vivienda, esta es debida a los electrodomésticos, alumbrado, aparatos eléctricos y a las personas que conviven en la vivienda, el cálculo de esta carga térmica, es simplemente una estimación, ya que es complicado conocer los datos reales de las horas de funcionamiento de electrodomésticos y aparatos eléctricos, así



como de las horas que los habitantes vayan a estar dentro de la casa. En este trabajo, la carga térmica por radiación, en vez de tenerla en cuenta, y contabilizarla como una carga más, lo que se propone es situar un elemento arquitectónico, con el que se obvia este tipo de carga. En resumidas cuentas, se propone un ahorro tanto económico, como energético, sin olvidar un ahorro de emisiones de  $CO_2$ .

Debido a que es mayor la carga térmica en el período de calefacción que en el de refrigeración, esto supone que el gasto de calefacción es mayor que el de refrigeración. El consumo de energía en el período de calefacción supone el 68,4 % y el de refrigeración 31,6%. El precio para el período invernal es del 76% y para el período estival del 24%. Se llega a la conclusión de que es más económico producir energía con electricidad que con gas natural. Se podría realizar un estudio en el que empleasen radiadores eléctricos para el período de calefacción y así estudiar si resulta más económico que una caldera de gas. La continuación de este trabajo podría ser dimensionar y comparar todo lo estudiado hasta ahora con un sistema que emplease energía renovable, por un lado energía termosolar para el agua caliente sanitaria, por otro lado paneles fotovoltaicos y un sistema de almacenamiento de energía por baterías para dar la energía que requiera la vivienda en todo momento.

En lo que se refiere a los parámetros interiores de diseño de la vivienda, temperatura interior y espesor de aislamiento, se observa en las tablas que se han incluido, como aumenta el consumo de energía cuando se aumenta un grado la temperatura interior en invierno o se disminuye un grado en verano, traduciéndose también en un aumento de emisiones de gas contaminante. El objetivo es la concienciación de las personas de mantener la temperatura del habitáculo según marca el RITE. Referente al espesor del aislamiento de la vivienda, se puede concluir, que el espesor mínimo de la vivienda de estudio no puede ser inferior a 4 cm. Aunque el espesor óptimo que debería tener la vivienda sea de 2,3 cm, no se podría construir una vivienda de estas características ya que no se cumpliría la limitación del coeficiente global de transferencia del muro ni del techo. Por tanto una vez más se aprecia como el Código Técnico de la Edificación aparece de nuevo para facilitar el trabajo. Por último y a título personal, como autor de este trabajo, he de decir que la realización de este estudio, aparte de familiarizarme con el CTE y el RITE, me ha permitido conocer más a fondo la herramienta informática Matlab, descubriendo así el potencial que tiene este programa sin el cual habría sido complicado y pesado la realización de este trabajo.

## ***7. REFERENCIAS.***

- [1] Energía 2011, Madrid, 2011, Foro de la industria Nuclear Española.
- [2] Introduction to heat transfer, Incropera, Frank P., De Witt, David P., 4th edition, Canada, 2001.
- [3] Reglamento de instalaciones térmicas de edificios, Documento básico de ahorro de energía, Abril 2009.
- [4] Agencia estatal de meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, [www.aemet.es](http://www.aemet.es)
- [5] Manual de aire acondicionado, Carrier International Limited, Barcelona, 2009. Capítulo 8.
- [6] Código Técnico de la edificación, DB HS: Salubridad. Caudal del aire interior. Caracterización y cuantificación de las exigencias, 2009.
- [7] Manual de aire acondicionado, Carrier International Limited, Barcelona, 2009. Capítulo 7, Tabla I, ganancias debidas a los ocupantes.
- [8] Tesis doctoral, Antonio Soria Verdugo. Capítulo 2, El Sol y la Radiación solar.

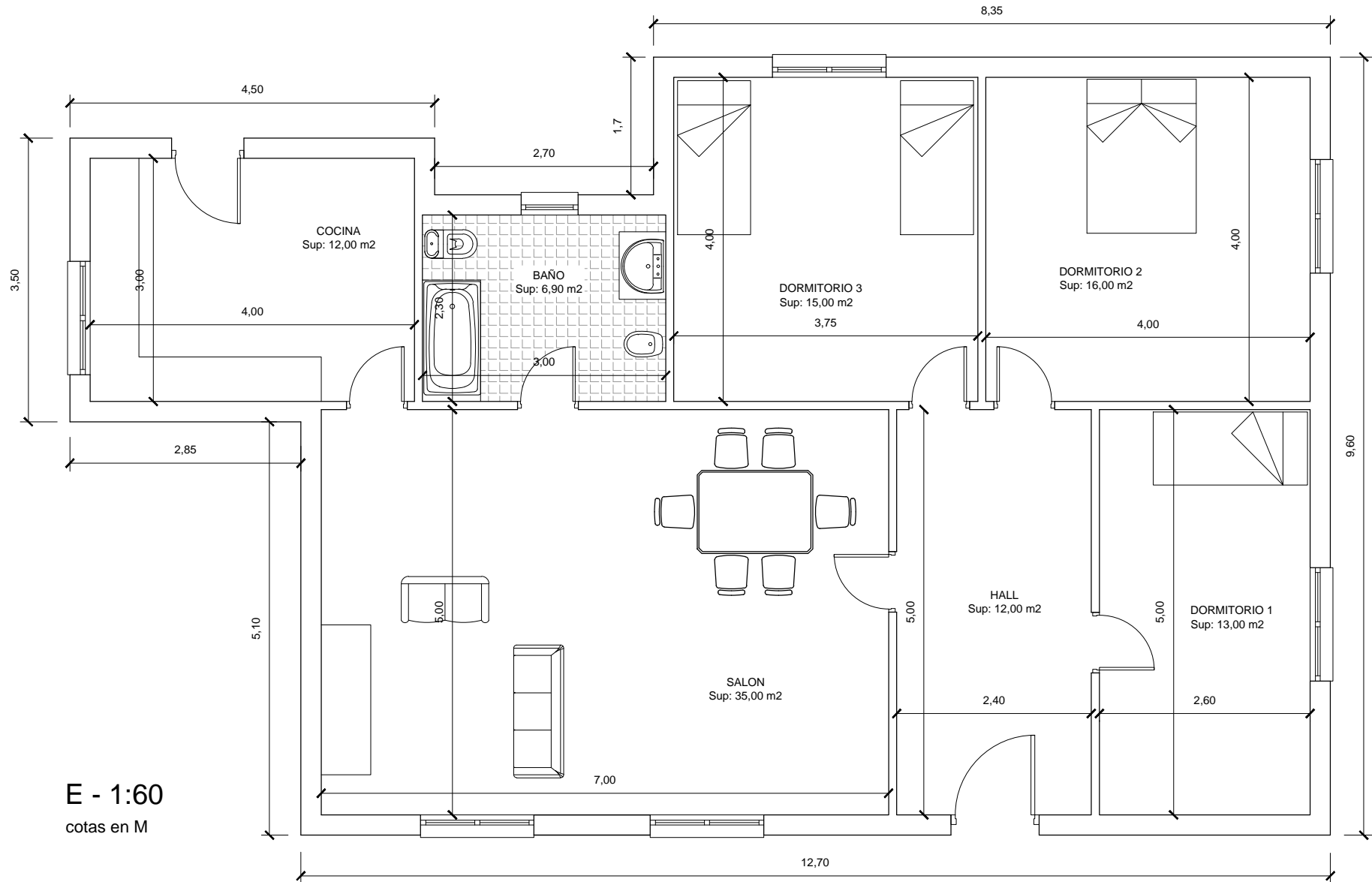
## ***8. BIBLIOGRAFÍA.***

- Energía 2011, Madrid, 2011, Foro de la industria Nuclear Española.
- Introduction to heat transfer, Incropera, Frank P., De Witt, David P., 4th edition, Canada, 2001.
- Reglamento de instalaciones térmicas de edificios, Documento básico de ahorro de energía, Abril 2009.
- Agencia estatal de meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, [www.aemet.es](http://www.aemet.es)
- Manual de aire acondicionado, Carrier International Limited, Barcelona, 2009. Capítulo 8.
- Código Técnico de la edificación, DB HS: Salubridad. Caudal del aire interior. Caracterización y cuantificación de las exigencias, 2009.
- Manual de aire acondicionado, Carrier International Limited, Barcelona, 2009. Capítulo 7, Tabla I, ganancias debidas a los ocupantes.
- Tesis doctoral, Antonio Soria Verdugo. Capítulo 2, El Sol y la Radiación solar.
- Solar engineering of thermal processes, Duffie, John A., Beckman, William A., 2ª edition.
- Fundamentos de termodinámica técnica, Moran, Michael J., Shapiro, Howard N., 2ª edición.
- Informe del sistema eléctrico español, Madrid, 2012, Red Eléctrica de España.
- Catálogo SGG Climalit, Saint – GobainGlass España, Madrid, 2011.
- Factura electricidad, Iberdrola, Abril 2013.
- Factura gas, Gas Natural Fenosa, Abril 2013.

## ***9. ANEXOS.***

ANEXO I.PLANO DE LA VIVIENDA DE ESTUDIO.

# PLANTA VIVIENDA DE ESTUDIO



## ANEXO II.EQUIPO DE CALEFACCIÓN.

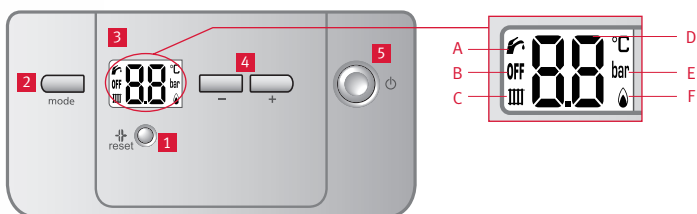
# MICRAPLUS 24

Caldera mural a gas de 24 kW. Mixta para calefacción y agua caliente. Circuito estanco.

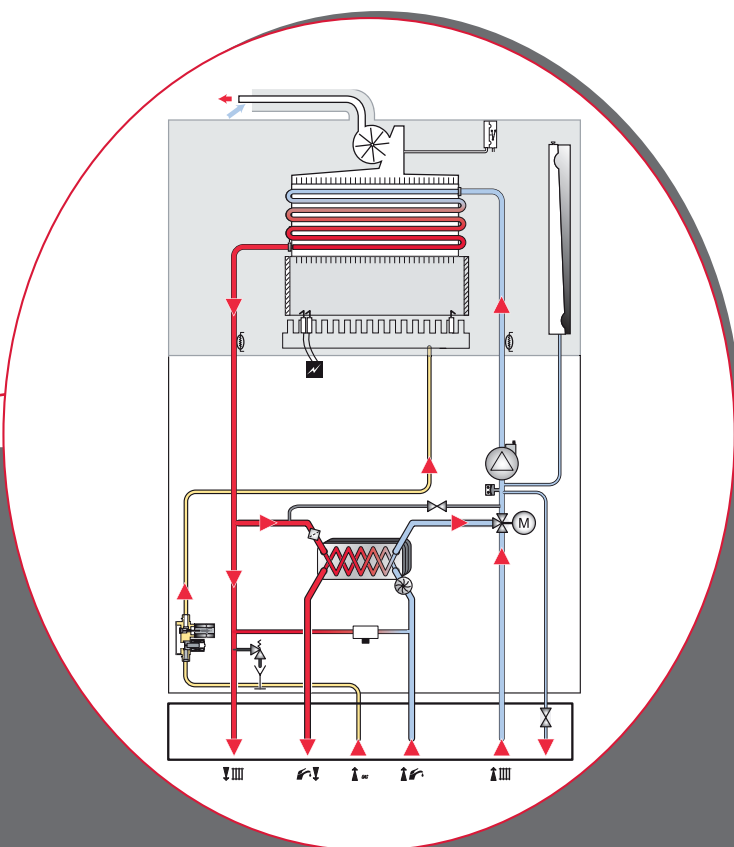
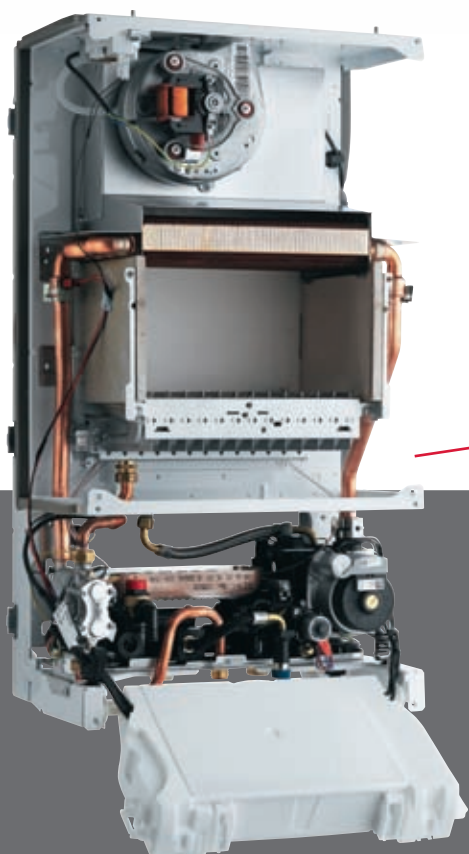


- Cuerpo compacto con materiales de alta fiabilidad
- Selección digital de la temperatura de calefacción y agua caliente
- Indicador digital de funcionamiento y temperatura
- Fácil de instalar, utilizar y mantener
- Compatibilidad con sistema solar
- Amplia gama de accesorios disponibles
- Función anti-hielo

## Panel de control



- |   |   |
|---|---|
| <b>1</b> Botón rearme   | <b>A</b> Indicador de agua caliente                 |
| <b>2</b> Selección del modo de funcionamiento                                 | <b>B</b> Modo protección anti-hielo                 |
| <b>3</b> Pantalla   | <b>C</b> Indicador de calefacción                   |
| <b>4</b> Regulación de la temperatura del circuito sanitario y de calefacción | <b>D</b> Visualización presión/temperatura del agua |
| <b>5</b> Interruptor ON/OFF   | <b>E</b> Unidad de medida                           |
|   | <b>F</b> Indicador de funcionamiento del quemador   |



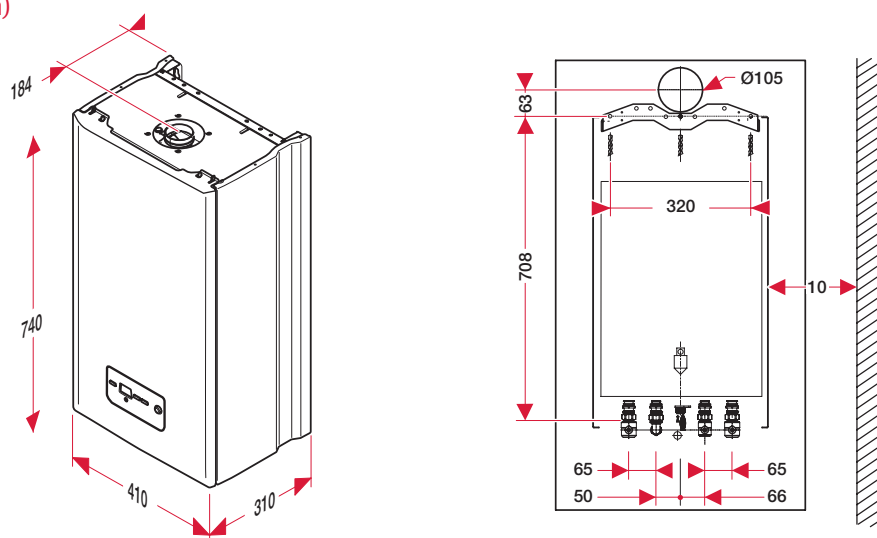


## Características técnicas

| Modelo  |         | MICRAPLUS 24 |
|---|---------|--------------|
| Precio  | €       | 870          |
| Referencia  | Gas N   | 0010014012   |
|   | Gas B/P | 0010014014   |
| Nº certificación CE   |         | 1312CL5509   |
| <b>Calefacción</b>  |         |              |
| Potencia útil (80/60 °C)                                      | kW      | 8,5 - 23,3   |
| Rendimiento s/PCI (80/60 °C)                                  | %       | 92,9         |
| Temperatura ida   | °C      | 38 - 80      |
| Presión máxima  | bar     | 3            |
| Capacidad de vaso de expansión                                | L       | 5            |
| <b>Agua Caliente Sanitaria</b>                                |         |              |
| Potencia útil   | kW      | 8,5 - 23,3   |
| Temperatura de salida ACS                                     | °C      | 38 - 60      |
| Caudal específico s/EN13203 ( $\Delta T 25^{\circ}\text{C}$ ) | L/min   | 13,3         |
| Caudal de agua mínimo   | L/min   | 1,5          |
| Presión máxima  | bar     | 10           |
| <b>Evacuación de humos</b>                                    |         |              |
| Longitud máxima horizontal C12 60/100                         | m       | 3            |
| Longitud máxima horizontal C12 80/125                         | m       | 10           |
| Longitud máxima vertical C32 60/100                           | m       | 4            |
| Longitud máxima vertical C32 80/125                           | m       | 10           |
| Longitud máxima horizontal a colectivo C42 60/100             | m       | 3            |
| Longitud máxima doble flujo C82/C52 80/80                     | m       | 2 x 15       |
| <b>Circuito Eléctrico</b>                                     |         |              |
| Alimentación  | V/Ph/Hz | 230/1/50     |
| Consumo máximo  | W       | 151          |
| Intensidad  | A       | 0,55         |
| Protección eléctrica  |         | IPX4D        |
| <b>Dimensiones y Peso</b>                                     |         |              |
| Dimensiones (alto/ancho/fondo)                                | mm      | 740/410/310  |
| Peso de montaje   | kg      | 34           |

El precio incluye la ventosa Ref.: A2005100. IVA no incluido.

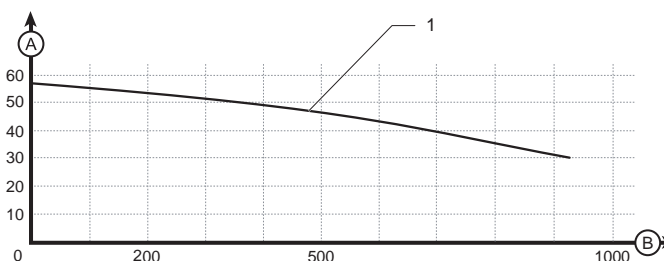
## Dimensiones (mm)



## Curva de la bomba de calefacción (muestra la relación entre presión y caudal)

- A Presión disponible entre ida y retorno de calefacción (kPa)  
 B Caudal en el circuito de calefacción (L/h)

1 Velocidad bypass cerrado



### ANEXO III. EQUIPO DE REFRIGERACIÓN.

## Datos físicos

| 30RBY Modelos sólo frío                              |       |   |      |  |       | 30RQY Modelos Bomba de calor                                |      |  |       |
|--|-------|---|------|--|-------|---|------|--|-------|
|  |       | 017   | 021  | 026                                    | 033   | 017   | 021  | 026                                    | 033   |
| Datos en las condiciones Eurovent LCP/A/AC*          |       |   |      |  |       |   |      |  |       |
| Capacidad de refrigeración nominal (unidad estándar) | kW    | 15,8  | 20,5 | 27,3                                   | 32,7  | 15  | 19,2 | 27,3                                   | 32,6  |
| Consumo  | kW    | 5,77  | 7,57 | 9,02                                   | 10,22 | 5,52  | 7,06 | 9,03                                   | 10,22 |
| EER  | kW/kW | 2,74  | 2,71 | 3,03                                   | 3,2   | 2,72  | 2,72 | 3,03                                   | 3,19  |
| ESEER en condiciones de carga parcial                | kW/kW | 3,05  | 2,99 | 3,36                                   | 3,53  | 3,04  | 2,98 | 3,35                                   | 3,52  |
| Capacidad calorífica nominal (unidad estándar)       | kW    | --  | --   | --                                     | --    | 16,9  | 20,3 | 28,5                                   | 31,1  |
| Consumo  | kW    | --  | --   | --                                     | --    | 6,01  | 7,22 | 10,15                                  | 11,08 |
| COP  | kW/kW | --  | --   | --                                     | --    | 2,81  | 2,81 | 2,81                                   | 2,81  |
| Peso en orden de funcionamiento**                    |       |   |      |  |       |   |      |  |       |
| Unidad estándar (con módulo hidrónico)               | kg    | 209   | 228  | 255                                    | 280   | 226   | 243  | 280                                    | 295   |
| Unidad estándar (sin módulo hidrónico)               | kg    | 193   | 213  | 237                                    | 262   | 211   | 228  | 262                                    | 277   |
| Refrigerante   |       |   |      |  |       | R-410A  |      |  |       |
| Compresor  |       |   |      |  |       | Un compresor scroll   |      |  |       |
| Control  |       |   |      |  |       | Pro Dialog+   |      |  |       |
| Ventiladores   |       | Dos ventiladores centrífugos con palas curvadas hacia atrás   |      | Un ventilador axial de dos velocidades |       | Dos ventiladores centrífugos con palas curvadas hacia atrás |      | Un ventilador axial de dos velocidades |       |
| Caudal de aire                                       | l/s   | 1640  | 1640 | 3472                                   | 3472  | 1640  | 1640 | 3472                                   | 3472  |
| Evaporador   |       |   |      |  |       | Intercambiador de calor de placas                           |      |  |       |
| Condensador  |       |   |      |  |       | Tubos de cobre y aletas de aluminio                         |      |  |       |
| Unidad con módulo hidrónico                          |       | Una bomba de una sola velocidad, filtro, depósito de expansión, interruptor del caudal, válvula de vaciado del circuito de agua, manómetro, válvula de purga de aire automática, válvula de seguridad |      |  |       |   |      |  |       |
| Consumo*   | kW    | 0,54  | 0,59 | 0,99                                   | 1,20  | 0,54  | 0,59 | 0,99                                   | 1,20  |
| Intensidad nominal operativa*                        | A     | 1,30  | 1,40 | 2,40                                   | 2,60  | 1,30  | 1,40 | 2,40                                   | 2,60  |

\*Condiciones estándar Eurovent LCP/A/AC en modo de refrigeración: temperatura del agua de entrada/salida del intercambiador de calor de agua: 12°C/7°C; temperatura del aire exterior: 35 °C. Condiciones estándar Eurovent LCP/A/AC en modo de calefacción: temperatura del agua de entrada/salida del intercambiador de calor de agua: 40°C/45°C; temperatura del aire exterior: 7 °C bulbo seco/6 °C bulbo húmedo.  
\*\* Máxima intensidad operativa de la unidad con el consumo máximo y 400 V (valores indicados en la placa de características de la unidad).

## Datos eléctricos

| 30RBY Modelos sólo frío                      |            |                                     |     |      |      | 30RQY Modelos Bomba de calor        |     |      |      |
|--|------------|-------------------------------------|-----|------|------|-------------------------------------|-----|------|------|
|  |            | 017                                 | 021 | 026  | 033  | 017                                 | 021 | 026  | 033  |
| Circuito de alimentación                     |            |                                     |     |      |      |                                     |     |      |      |
| Tensión de alimentación nominal              | V-fases-Hz | 400-3-50 ± 10%                      |     |      |      | 400-3-50 ± 10%                      |     |      |      |
| Alimentación del circuito de control         |            | 24 V mediante transformador interno |     |      |      | 24 V mediante transformador interno |     |      |      |
| Intensidad máxima de arranque (Un)*          | A          | 75                                  | 95  | 118  | 118  | 75                                  | 95  | 118  | 118  |
| Consumo máximo operativo**                   | kW         | 8,0                                 | 9,3 | 11,2 | 14,0 | 8,0                                 | 9,3 | 11,2 | 14,0 |
| Intensidad nominal operativa de la unidad*** | A          | 13                                  | 16  | 20   | 24   | 13                                  | 16  | 20   | 24   |

\* Intensidad máxima de arranque instantáneo (amperaje del compresor con el motor inmóvil).

\*\* Consumo de energía, compresores y ventiladores, en los límites de funcionamiento de la unidad (temperatura de aspiración saturada: 10 °C; temperatura de condensación saturada: 65 °C) y una tensión nominal de 400 V (datos indicados en la placa de características de la unidad).

\*\*\* Al máximo consumo de la unidad y 400V (valores dados en la placa de la unidad)

## Dimensiones, mm

|       | 30RBY Modelos sólo frío |       |       |       | 30RQY Modelos Bomba de calor |       |       |       |
|-------|-------------------------|-------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|-------|
|       | 017                     | 021   | 026   | 033   | 017                          | 021   | 026   | 033   |
| Largo | 1.135                   | 1.135 | 1.002 | 1.002 | 1.135                        | 1.135 | 1.002 | 1.002 |
| Ancho | 584                     | 584   | 824   | 824   | 584                          | 584   | 824   | 824   |
| Alto  | 1.608                   | 1.608 | 1.829 | 1.829 | 1.608                        | 1.608 | 1.829 | 1.829 |

Consulte en la documentación específica del producto las distancias de servicio necesarias.

## Accesorios

|                 |  | Usar en |
|-----------------|--|---------|
| 00PSG000119100B | Tarjeta de comunicaciones para J-Bus   | Todas   |
| 00PSG000119200A | Tarjeta de comunicaciones para BacNet  | Todas   |
| 00PSG000119300A | Tarjeta de comunicaciones para LonTalk | Todas   |
| 00PSG001022800A | Interface remoto                       | Todas   |
| 30RB9001        | Sistema de llenado                     | 017-021 |
| 30RB9002        | Sistema de llenado                     | 026-033 |
| 30RB9003        | Kit bandeja de drenaje                 | 017-021 |
| 30RB9004        | Kit bandeja de drenaje                 | 026-033 |

## Precios €

### Versión "con" módulo hidrónico y neutro

| 30RBY---CH - Sólo frío |        |        |        | 30RQY---CH - Bomba de calor |        |        |        |
|------------------------|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|--------|
| 017                    | 021    | 026    | 033    | 017                         | 021    | 026    | 033    |
| 11.969                 | 12.740 | 14.538 | 16.053 | 12.714                      | 13.511 | 15.951 | 16.618 |

### Versión "sin" módulo hidrónico y neutro

| 30RBY---CO - Sólo frío |        |        |        | 30RQY---CO - Bomba de calor |        |        |        |
|------------------------|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|--------|
| 017                    | 021    | 026    | 033    | 017                         | 021    | 026    | 033    |
| 10.094                 | 10.865 | 12.560 | 14.076 | 10.839                      | 11.636 | 13.973 | 14.641 |

## Opciones

| Opciones instaladas en fábrica                              | Usar en   | PVP       |
|---|-----------|-----------|
| Marco para conexión a conducto de aire de entrada           | 017-021   | 527       |
| Marco para conexión a conducto de aire de entrada + Filtros | 017-021   | 1.708     |
| Sistema de llenado de agua                                  | Todas (1) | 565       |
| Puesta en marcha unidad                                     | Todas     | Consultar |

(1) Unidades con módulo hidrónico

